

平成 27 年度（2015 年度） 修士論文

道路ネットワークデータを用いた
雨水管路網データの構築

平成 28 年 3 月

首都大学東京大学院 都市環境科学研究科

都市基盤環境学域

14885406 雨宮 尚広

(指導教授 河村 明)

道路ネットワークデータを用いた雨水管路網データの構築

学修番号 14885406 雨宮尚広
都市基盤環境学域 環境システム分野
指導教授 河村 明

1. はじめに

都市流域における雨水流出機構は、主に地表面の不浸透域からの直接流出と、これが道路の側溝などから雨水管路網を経て河川に至るまでの流出など、表面流出および雨水管路網流出の2つの排水システムから構成されている。都市流域を対象とした分布型流出モデルの表面流出過程には、山地流域など人工物の少ない自然流域に適用されるDEM (Digital Elevation Model) を活用したグリッド型モデルが用いられ、直接流出量を算定するための土地利用データと地表面流の流下方向を解析するDEMにより雨水追跡が行われている。一方で、雨水管路網流出に用いられるデータは対象都市流域の管路網を管理している自治体より入手した電子データや紙媒体の下水道台帳から分布型雨水流出モデルを構築することが前提となっているが、これらの実データ入手が出来ない場合のモデルを構築は非常に困難である。既存の地盤高、道路および建物などのGISデータを活用して膨大な作業時間を必要とせずに対象流域の雨水管路網データを構築することが出来れば、任意の都市流域における分布型洪水流出モデルデータを迅速に作成することが可能となる。

そこで本研究では、雨水管路網が道路に埋設されているという特徴に着目し、道路ネットワークデータを活用した雨水管路網データ構築手法を提案する。

2. 対象流域の概要

神田川は、三鷹市の井の頭池にその源を発し、途中善福寺川と妙正寺川を合流して隅田川に流入する東京都内の代表的な都市河川である。本研究では、井の頭池から善福寺川合流点までの神田川上流域(流域面積約11.8km²、流路延長約9km)を設定した。対象流域の下水道は合流式で整備されており、汚水は下水道幹線により下水道処理場に送水されている。図-1 a)は、東京都1/2500地形図より構築した神田川上流域の高度な地物データGISを示したものである。地表面の全要素数は104,342、建物、道路、緑地、舗装地の流域面積に対する面積率はそれぞれ29%、16%、9%および3%である。図-1 b)は、実際の雨水管路網の現況図である。

3. 雨水管路網データの構築

図-2は提案する道路ネットワークを活用した雨水管路網データの構築手順であり、①道路ネットワークデータの作成、②管底高の設定、③管路直径の設定の手順で進めていく。まず高度な地物データGISから道路要素を抽出し、ネットワークの直進性が高く、道路幅の狭い道路の作成が可能で、道路幅の情報も付加することができる手法により道路ネットワークデータを作成し、ノードをマンホール、リンクを管路として設定する。そして、河川への放流管が橋付近に集中している特徴を考慮し、橋に接続する道路を小領域の境界として設定する。小領域では管路内の全雨水が放流管から河川に排水されるように、放流

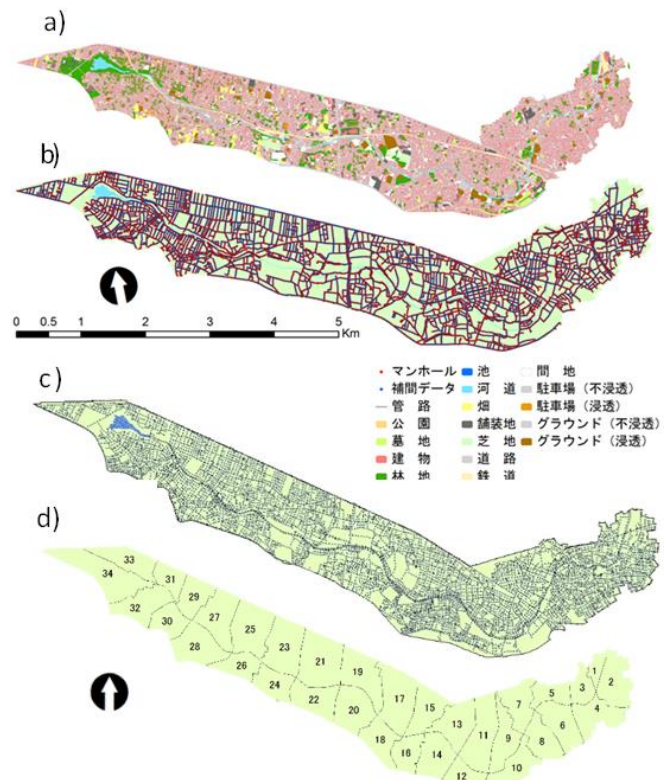


図-1 地図データ, a) 神田川上流域の土地利用地物要素, b) 雨水・下水道管路要素, c) 本研究で用いた道路ネットワークデータ, d) 小流域分割図

管の管底高を河床高+0.5mとして設定し、上流側に向かって管路勾配 1/100 として管定高を設定していく。この際、地盤高と管底高との差（深度）が 1m から 5m の範囲に収まらない場合には管路勾配を補正するなどして全管路の管底高を設定する。次いで管路直径は、降雨強度式に利用する到達時間と各マンホールから雨水管路への流入に寄与する雨水面積（土地利用毎の面積と流出係数）を用いて合理式によりピーク流量を求めて設定する。そこで、既に設定されている管底高により管路の下流方向を判別しながら、最上流側から各マンホールまでの最大管路延長を求め、管路内平均流速などにより計算される到達時間を降雨強度式に代入して管路毎に雨量を設定する。これと同時に、各マンホール地点の雨水面積は、マンホールを母点とするボロノイ図を支配領域として、この中に含まれる各土地利用地物の面積と流出係数を掛け合わせたものを設定し、上流から下流に向かって順に管路毎の雨水面積を求めた。こうして求めた任意の管路地点の雨量と雨水面積から管路流量を算定し、平均流速を用いて管路直径に換算して雨水管路網データの構築が完了する。

本手法の神田川上流域への適用では、図-1 c) に示す道路ネットワークデータを作成し、橋の配置から流域を 34 の小流域に分割（図-1 d)）するとともに、合理式による管路流量の算定には土地利用地物要素に応じた 3 つの流出係数（道路：0.90，建物：0.95，その他：0.30）を設定²⁾し、管路内平均流速²⁾は 1.2m/s を用いて管路直径を求めた。表-1 は本研究で構築した雨水管路網データと実雨水管路網データの概要を示したものであり、図-3 は構築データの地盤高と管路直径の空間分布について、図-1 d) の小流域番号 28 を示した図である。図-3 より、管路は地盤高が低く河道への放流管に接近するにつれて大きな直径が設定されており、適格にデータ構築されていることを確認した。構築データの管路数がマンホール数よりも圧倒的に多い理由は、網目状に全ての交差点等で管路が接続していることが原因で、実データでは交差点で管路が接続せずに樹枝状となっている箇所が多いが、両者の数自体に大きな違いは無い。総管路延長（容量）については、構築データは全ての道路に管路が埋設されていると仮定したことが要因となって、全ての道路に管路が埋設されていない実データに対し、総管路延長および総管路容量の値は大きくなっている。管路直径の分布の傾向は似ているが、本研究で構築したデータは実データに比べ、管路直径が 2.0m と大きい管路が多い結果となったことも影響している（図-4）。

4. むすび

本研究では、道路ネットワークデータを活用した雨水管路網データを構築する手法の提案を行った。本手法を神田川上流域に適用した結果、構築された雨水管路網は河道に向かって、管底高が低くなり、雨水を河川へ放流することができることが確認され、管路直径は実データに近似していることが確認された。本手法を用いることで、実雨水管路網データの入手が困難な場合でも、容易に入手可能な道路ネットワークから、短時間で雨水管路網データを構築することができることを示した。今後は、洪水流出モデルに適用させた場合の結果を実データと比較する予定である。

参考文献

- 1) 田内裕人，天口英雄，河村 明，古賀達也，萩原陽一：都市域の道路形状特性に着目した新たな道路ネットワークデータの自動構築手法，土木学会論文集 F3，Vol.70，No.2，pp.115-122，2015。
- 2) 東京都下水道サービス株式会社：管渠再構築設計の手引き，平成 17 年 7 月

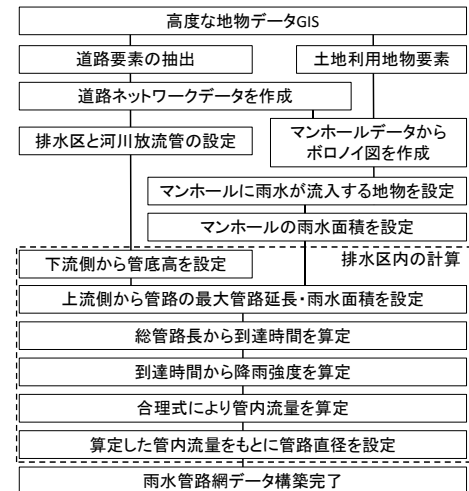


図-2 データ構築のフローチャート

表-1 構築データの概要

	構築データ	実データ
マンホール数	8,857 個	9,632 個
管路数	10,671 本	9,904 本
総管路延長	344,674m	268,641m
総管路容量	103,289m ³	69,636m ³

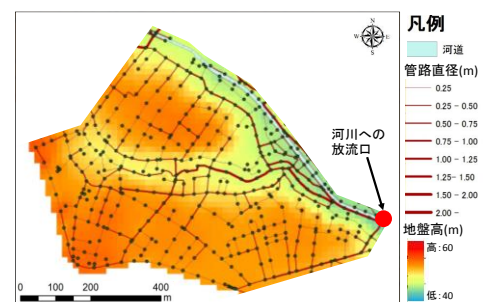


図-3 構築データの地盤高と管路直径の空間分布

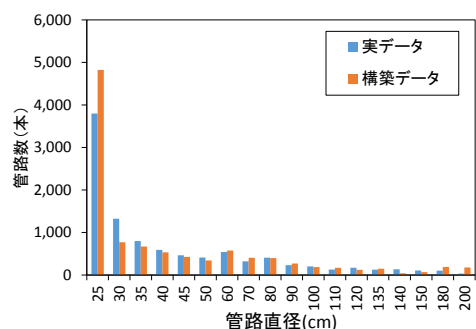


図-4 管路直径度数分布の比較

目 次

第 1 章 序論

- 1-1 研究の背景と目的 1
- 1-2 本論文の構成 2

第 2 章 神田川上流域における雨水管路網データの特性解析

- 2-1 神田川上流域の概要 3
- 2-2 高度な地物データ GIS の概説 6
- 2-3 既存の雨水管路網特性 7

第 3 章 雨水管路網データの構築方法

- 3-1 都市流域を対象とした洪水流出解析モデルの概要 17
- 3-2 雨水管路網データの構築方法 22

第 4 章 神田川上流域における雨水管路網データの構築と評価

- 4-1 神田川上流域における雨水管路網データ構築に用いたデータ 45
- 4-2 神田川上流域における雨水管路網データの構築 47
- 4-3 実データとの比較・評価 57

第 5 章 結論 61

参考文献 62

謝辞 63

第 1 章

序 論

第 1 章 序論

1-1 本研究の背景と目的

雨水流出モデルは、対象とする規模や目的、そして水文量の分布の有無により集中型と分布型の 2 つに大別され、都市流域の複雑な流出過程や雨水浸透貯留施設の効果を詳細にシミュレーションするには分布型モデルが用いられる。都市流域における雨水流出機構は、主に地表面の不浸透域からの直接流出と、これが道路の側溝などから雨水管路網を経て河川に至るまでの流出など、表面流出および雨水管路網流出の 2 つの排水システムから構成されている。ここで、雨水管路網流出とは雨水管および合流式下水道を通じて、雨水が河道へ流出するものである。都市流域を対象とした分布型流出モデルの表面流出は、山地流域など人工物の少ない自然流域に適用される DEM (Digital Elevation Model) を活用したグリッド型モデルが数多く提案されており、直接流出量を算定するための土地利用データと地表面流の流下方向を解析する DEM により雨水追跡が行われている。一方で、雨水管路網流出に用いられる雨水管路網データは対象都市流域の雨水管路網を管理している自治体より入手した電子データや紙媒体の下水道台帳から分布型雨水流出モデルを構築することが前提となっている。ここで、雨水管路網データとは流域の雨水・下水道管路の雨水管路網流出に寄与する物理的特徴を表現した電子データのことである。雨水管路網データが電子データで入手できない場合は紙媒体の下水道台帳等を入手する必要がある。紙媒体の下水道台帳を公開している自治体として東京都下水道局¹⁾などが挙げられる。紙媒体の下水道台帳などから雨水管路網データを構築するためには、図面をコンピューターにスキャンをして取り込み、管路やマンホールの位置座標と管路の直径などの属性データを付加する必要がある、膨大な作業時間を必要とする²⁾。さらに紙媒体の下水道台帳などの実データの入手も出来ない場合は、モデルを構築することさえも非常に困難である。既存の地盤高、道路および建物などの GIS データを活用して膨大な作業時間を必要とせずに対象流域の雨水管路網データを構築することが出来れば、任意の都市流域における分布型洪水流出モデルデータを迅速に作成することが可能となる。

雨水管路網は道路の下に埋設されていることが一般的である。この特徴を利用し、本研究では道路ネットワークデータを用いて下水道台帳をトレースせずに雨水管路網を作成する。道路ネットワークデータを用いて作成した雨水管路網を用いて、雨水管路網データの構築手法を示し、実流域に適用する。そして、本研究において構築した雨水管路網と実雨水管路網データの比較・検証を行う。

1-2 本研究の構成

本研究の構成は以下の通りとなる。

第2章では、本論文で提案した手法を適用する神田川上流域の概要と下水道台帳から構築された既存の雨水管路網データから雨水管路網の特性について示した。本論文では、神田川の井の頭池から善福寺川合流点までの上流域約 11.8km²、流路延長約 9km を対象流域として設定した。

第3章では、雨水管路網データを用いて都市流域における洪水流出解析を行うモデルとして本研究室で提案された TSR(Tokyo Storm Runoff)モデルが挙げられる。雨水管路網データを洪水流出解析に用いる TSR モデルについての概要を述べる。そして、TSR モデルのような都市流域における洪水流出モデルに用いる雨水管路網データを、道路ネットワークを用いて構築する手法を本論文で提案し、述べた。また、本手法で用いる道路ネットワークデータの構築手法についても述べた。

第4章では、第3章で述べた手法を神田川上流域に適用し、雨水管路網データの構築を行った。また、実雨水管路網データとの比較を行い、本手法で構築した雨水管路網データの評価を行った。

第5章は結論であり、本論文で得られた知見をまとめ、総括を述べた。

第2章

神田川上流域における 雨水管路データの特性解析

第2章 神田川上流域における雨水管路網データの特性解析

2-1 神田川上流域の概要

(1) 流域の位置

対象とする神田川は、東京都三鷹市の井の頭恩賜公園内にある井の頭池にその源を発し、杉並区南部を東に流れ、中野区との区境付近で善福寺池を水源とする善福寺川と合流し、新宿区へ流下する。新宿区では、高戸橋付近で妙正寺川および落合下水処理場の放流水と合流し、水量を増して豊島区・文京区・新宿区の区境を東に流れる。船河原橋（飯田橋）で外堀の流れと合流し、千代田区と文京区の区境を流れる途中、小石川橋下で日本橋川と分流し、水道橋から御茶ノ水溪谷を経て中央区と台東区の区境にある柳橋下で隅田川と合流し、東京港から東京湾に流出する。流域面積 105[km²]、流路延長 25[km]の東京都内の中小河川としては最大規模の一級河川である³⁾。

本研究では、図 2-1-1 に示す神田川の水源地である井の頭池から、善福寺川との合流点までの流域面積約 11.8[km²]、流路延長約 9[km]を対象流域として設定した。

(2) 流域の自然環境

神田川流域は、荒川と多摩川と挟まれた武蔵野台地にあり、その平均標高は約 36[m]である。流域に分布する地形面は、武蔵野面に相当する豊島台が大部分を占め、南の一部に下末吉面に相当する淀橋台がある。

神田川流域のある東京都区部における平均年間降水量は、東京観測所の 1981 年から 2011 年の間を平均すると、概ね 150[mm]程度となっており、全国平均の約 1700[mm]と比べると降水量は少ない。東京都区部における近年の年間平均気温は、16℃前後であり、過去 100 年間で約 3℃程度上昇している。全国平均に比べ降水量は少ない一方で、近年このような現象が影響していると考えられる局地的な集中豪雨は増加している。

(3) 流域の変遷

神田川流域の下流域は、昭和初期にはすでに市街地が形成されていた。一方、本研究で対象とする上流域では、鉄道や主要道路を中心とした市街化にとどまり、昭和初期の神田川流域全体での市街化の割合は、5 割以下であった。戦後、東京への人口集中によって、中・上流域においても昭和 30 年代、40 年代初期にかけて急速に市街化が進み、昭和 50 年代初期には神田川流域全体の 9 割以上が市街地となった。現在の神田川上流域における主な土地利用を図 2-1-2 に示す。図 2-1-2 から、住宅密集地が多くあり、井の頭公園を中心に緑地も残されていることが分かる。なお、神田川上流域の市街化率は約 97%に達しており、対象流域内の全建物地物の面積は対象流域面積に対して約 30%となっている。流域内の人口は 160 万人を超えており、合流式下水道による下水道整備は普及率 100 %に達している⁴⁾。

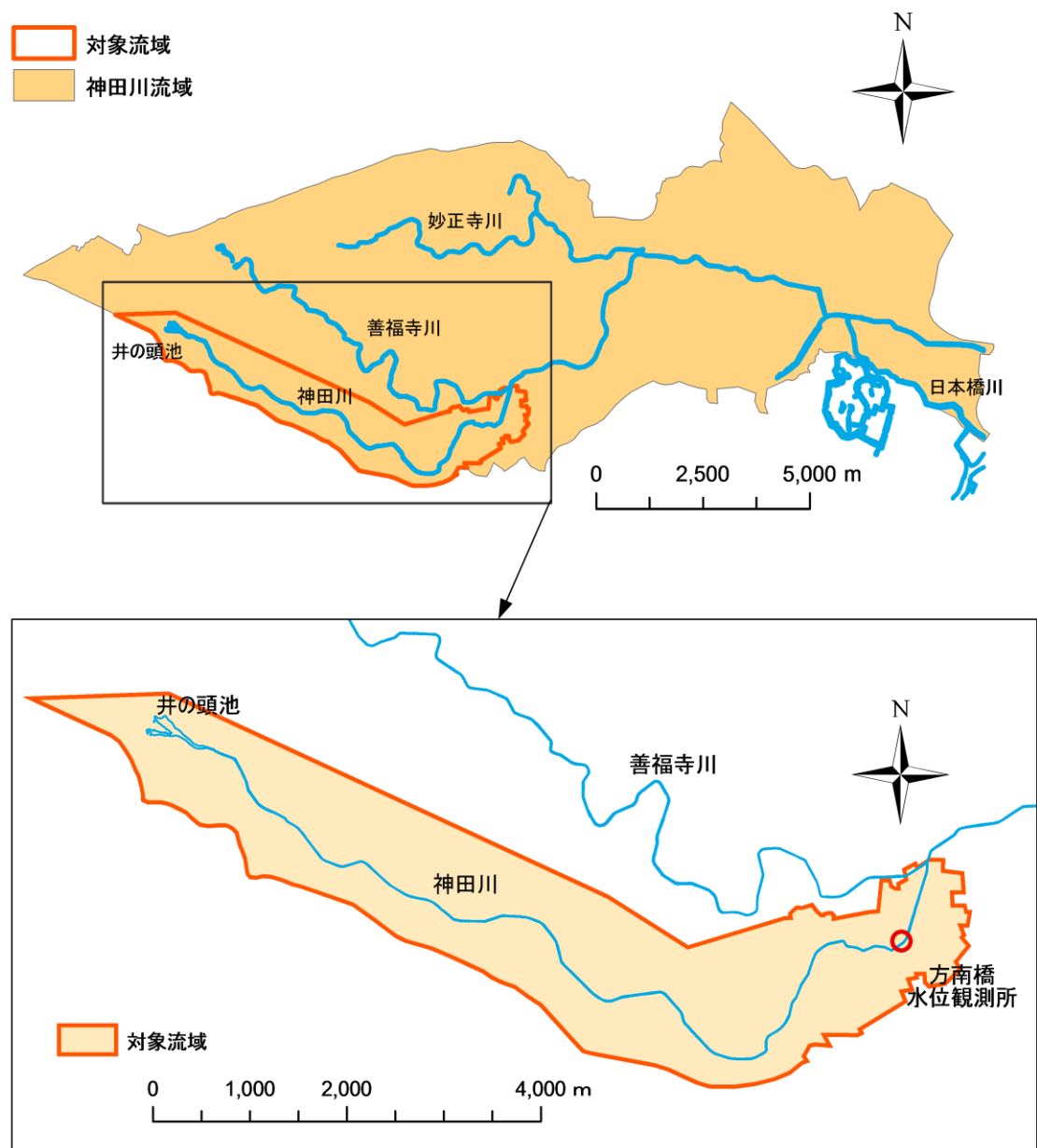


図 2-1-1 対象流域概要図

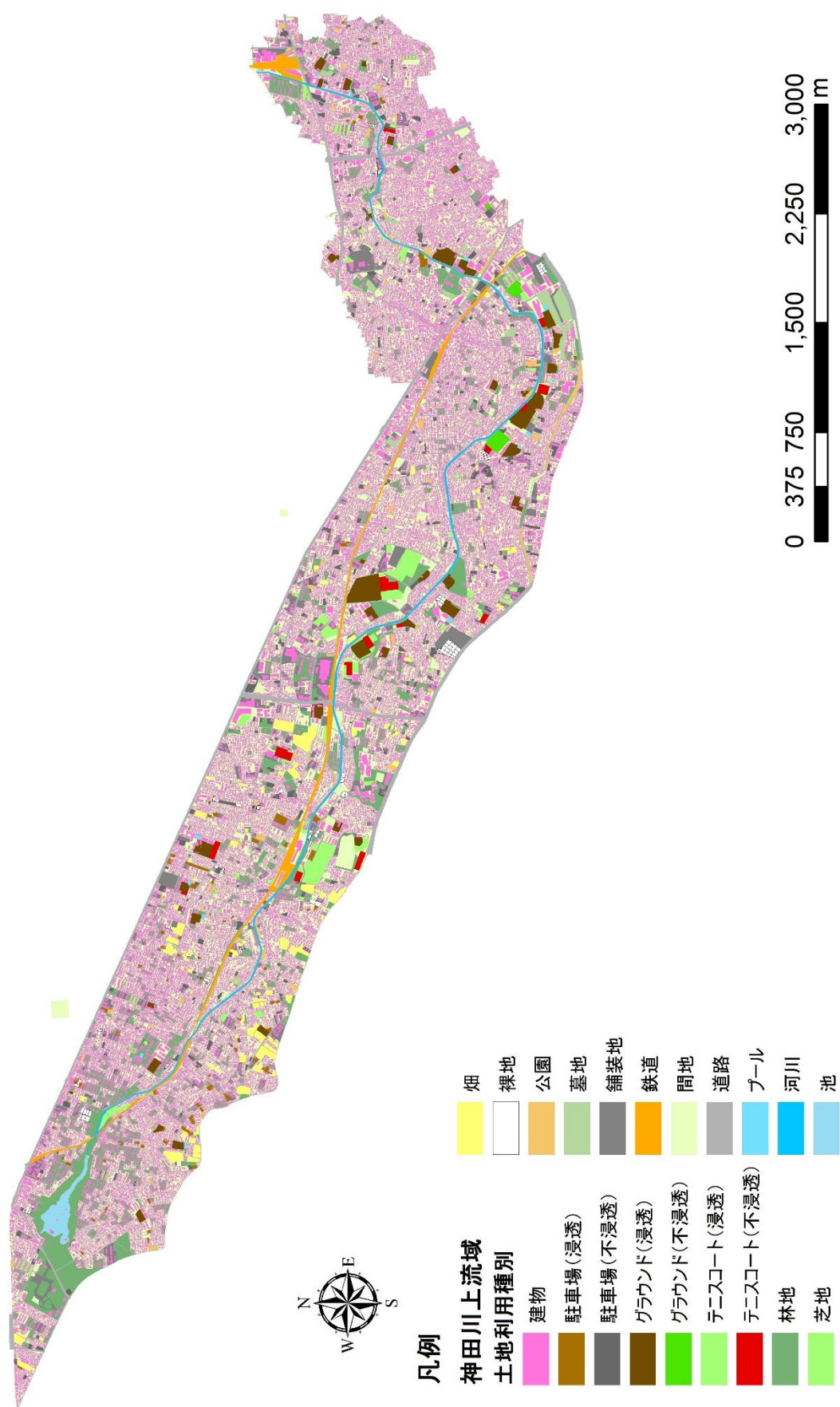


図 2-1-2 神田川上流域の土地利用 (高度な地物データ GIS より)

2-2 高度な地物データ GIS の概説

都市域のモデル作成に用いるデータについては、近年 GIS データの整備が目覚ましい。これまで、都市流域は人工的要素を含むため詳細な空間情報の記述が容易ではなかったが、これらの地物データを忠実に表現可能なベクター型土地利用情報を用いることで、特定の建物、道路といった詳細な空間情報を抽出することが可能となった。

しかし、現在利用可能な基礎的地物データ GIS には、浸透特性に基づいた林地、緑地、グラウンドなどの土地利用種別の情報が含まれていない。これまで本研究室では基礎的地物データ GIS をベースに、独自に調査した浸透域に関する情報を新たに組み込むことにより、都市を形成している土地利用を浸透特性で分類する GIS を構築してきている⁴⁾。そして、分布型洪水流出モデルに適用できる地物形状を忠実に反映した GIS データを「高度な地物データ GIS」と定義し、神田川上流域を対象として土地利用の詳細な判別を行い、その高度な地物データ GIS を構築してきた。

図 2-2-1 に従来のグリッド型分布モデル(a)と高度な地物データ GIS を用いたモデル(b)の図を示す。図のように従来のグリッド型分布モデルと比べると高度な地物データ GIS を用いたモデルは都市を土地利用地物毎に分類できるため、地表面の土地利用状況をより正確に表現することが可能となっている。

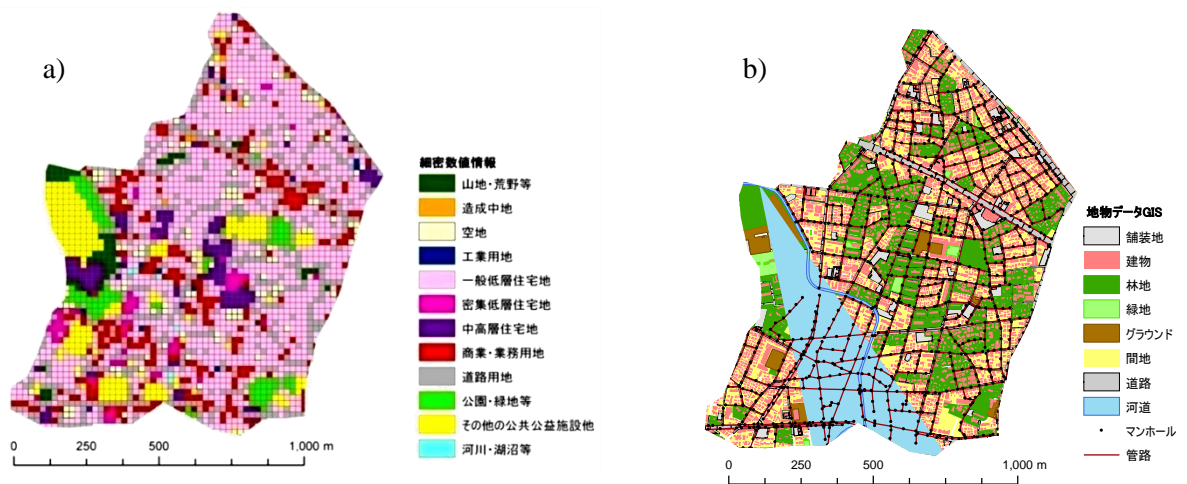


図 2-2-1 (a)従来のグリッド型分布モデル, (b)高度な地物データ GIS を用いたモデル

2-3 既存の雨水管路網特性

道路ネットワークデータを用いた雨水管路網データを構築する前段階として、下水道台帳から手作業で電子化された神田川上流域の実雨水管路網データ（図 2-3-1）を用いて雨水管路網特性を把握するため分析を行った。分析に用いた雨水管路網データはポイント型のノードであるマンホール、ポリライン型のリンクである管路の 2 つの GIS データをネットワーク化することで構成されている。神田川上流域の実雨水管路網データはマンホール 9,632 個、管路 9,904 本となっている。ここで管路は隣接する 2 つのマンホールをつなぐリンクを 1 本の管路とした。このデータを用いて、地盤高・道路・建物などの GIS データを用いた管路容量とマンホール深さ（地盤高－マンホール底高）および管路勾配の空間的な特性を把握した。

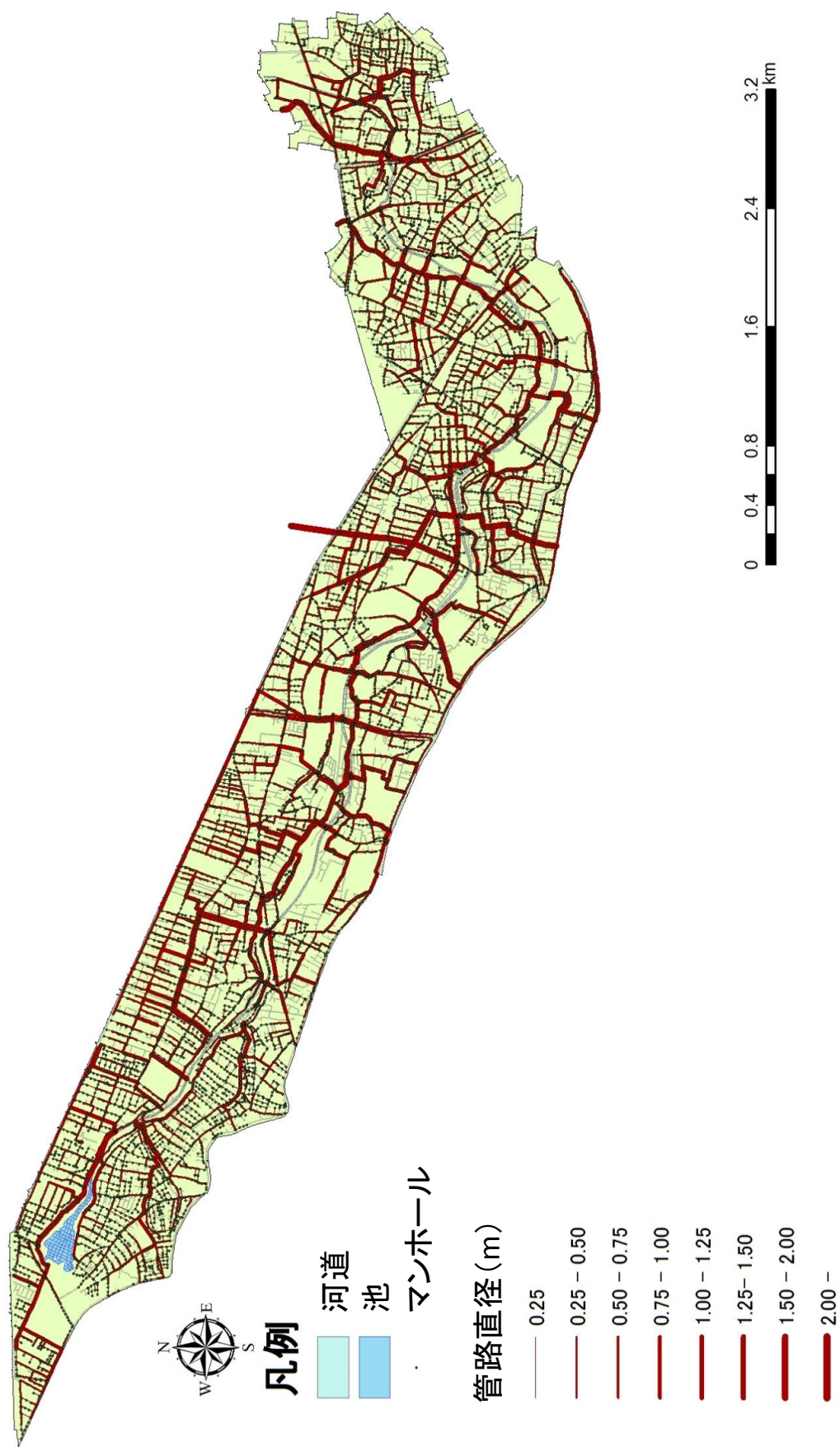


図 2-3-1 下水道台帳から構築された神田川上流域の雨水管路網データ

(1) 管路容量の特性

管路容量は管路直径と管路長から算定される。神田川上流域において管路容量と関係の深い指標を把握するために流域を雨水管路網の河川への雨水の排水状況と道路を考慮し、34 個の小領域に分割した(図 2-3-2)。個々の管路の管路長と断面積を掛け合わせて管路容量を算出し、分割した小領域毎に累計した。この小領域毎の管路容量と道路面積・建物面積及び平成 22 年度国勢調査⁴⁾をもとに推定した人口との関係をみた(表 2-3-1)。その結果を図 2-3-3 と図 2-3-4 のように管路容量と道路・建物面積及び人口の関係を直線近似した場合、道路面積、建物面積、人口の順に関係性が深いことがわかった。このことから、管路容量が未知の流域において道路面積を指標とすることで管路容量を推定することができる可能性が考えられる。

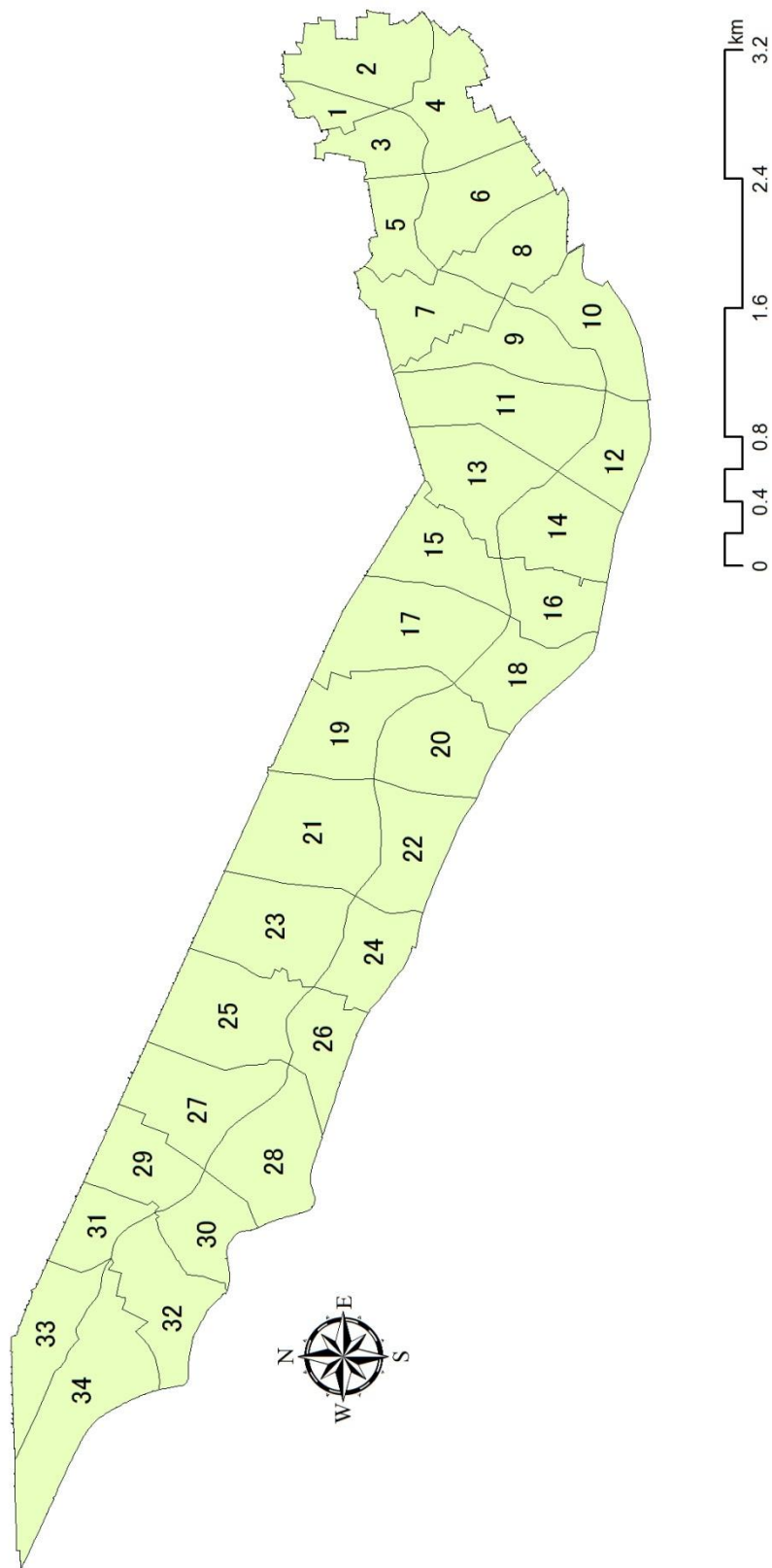


図 2-3-2 神田川上流域の小領域分割図

表 2-3-1 小領域ごとの管路容量，道路・建物面積および人口の値

領域	管路容量 m ³	道路面積 m ²	建物面積 m ²	人口 人
1	465	15,228	23,956	2,002
2	1,278	57,259	117,879	7,865
3	640	33,521	58,332	4,398
4	2,289	57,349	119,527	8,341
5	791	43,151	62,253	3,691
6	1,380	54,974	140,184	7,344
7	1,805	44,035	86,383	4,731
8	875	37,038	95,581	4,625
9	1,821	58,386	108,318	3,830
10	1,672	58,260	70,337	3,285
11	2,134	76,259	163,534	6,927
12	2,107	27,870	60,680	3,004
13	2,473	67,483	116,996	5,543
14	2,180	48,143	112,650	4,732
15	2,482	58,816	106,214	5,189
16	2,313	38,781	87,303	4,101
17	3,549	78,350	122,181	7,214
18	1,852	47,937	66,622	3,029
19	2,480	73,741	116,938	6,039
20	2,687	64,197	105,392	5,070
21	3,164	84,077	134,613	6,928
22	2,392	65,765	88,573	5,091
23	3,575	66,768	136,763	6,691
24	1,251	27,718	37,198	1,788
25	5,408	73,191	146,435	6,399
26	1,213	32,281	68,731	2,814
27	3,558	63,128	153,079	5,999
28	1,751	60,367	113,818	5,966
29	1,442	45,058	96,634	3,697
30	948	35,303	79,853	3,388
31	1,770	30,484	56,651	2,461
32	1,906	53,988	117,668	4,255
33	2,118	39,519	83,358	3,118
34	1,868	67,238	127,600	5,906
合計	69,636	1,785,662	3,382,235	165,464

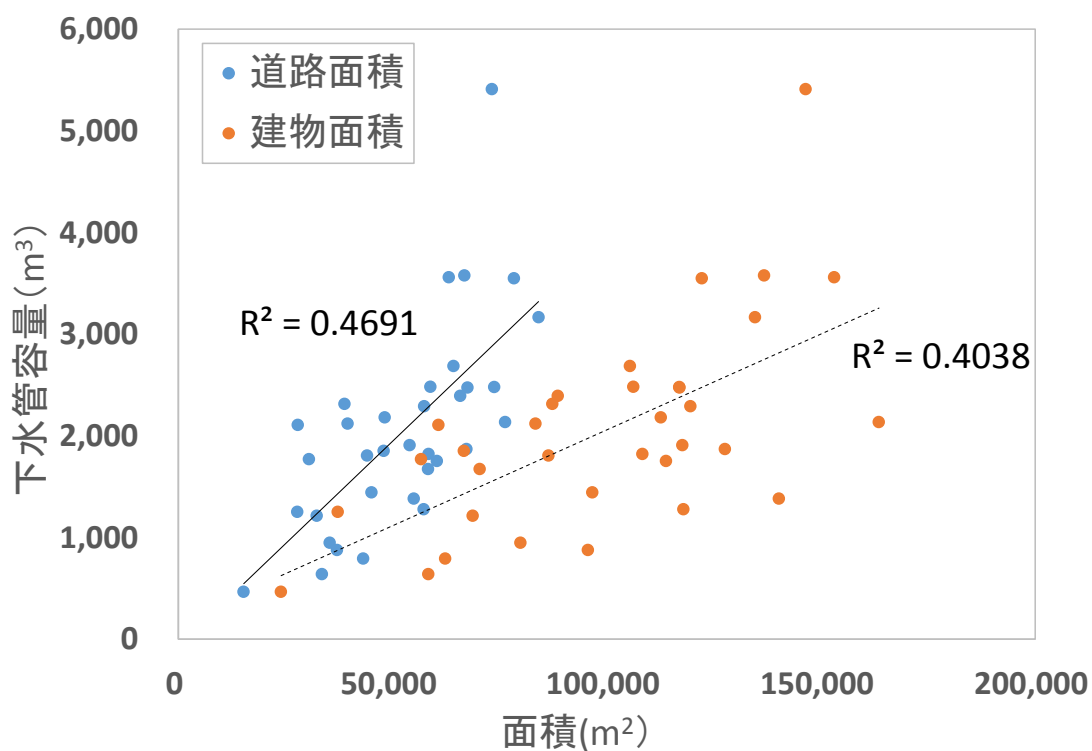


図 2-3-3 道路・建物面積と管路容量との関係

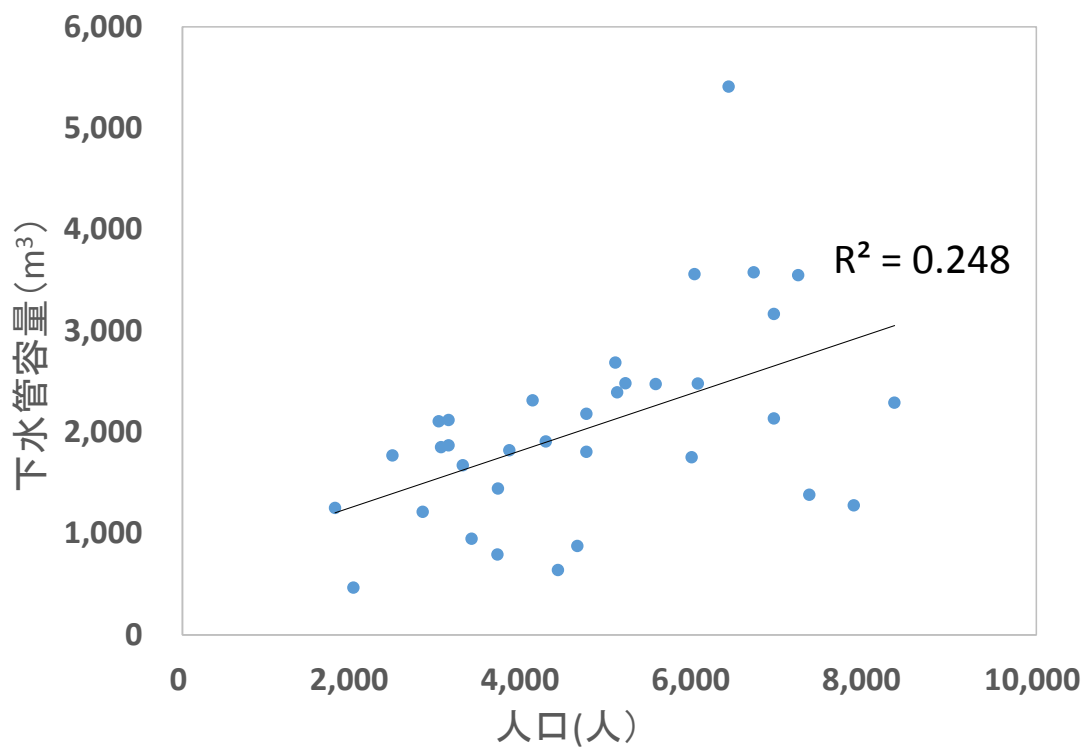


図 2-3-4 人口と管路容量との関係

(2) マンホール深さおよび管路勾配の特性

神田川上流域内の雨水管路網の埋設状況を把握するために埋設管深さおよび管路勾配の特性を把握した。ここで、マンホール深さはマンホールに接続している管路の管底高の最も低い値から算出されるマンホール底高を算出し、地盤高からマンホール底高を引いた値とする。流域を図 2-3-5 のように河道と地表面勾配により台地、河道周辺、斜面と地形分類を行い、地形ごとにマンホール深さおよび管路勾配の値を集計し、傾向をみた(図 2-3-6, 図 2-3-7,)。この際に、図 2-3-6 の分布図におけるマンホール深さの階級幅は 0.1[m]とし、図 2-3-7 の分布図における管路勾配の階級幅は 1/400 とした。

マンホール深さについては、全ての地形において度数分布に概ね同様の傾向がみられた。それぞれの地形ごとに平均値、標準偏差を表 2-3-2 にまとめた。その結果、流域全体の平均値と標準偏差からみると、多くのマンホールのマンホール深さが 0.6[m]から 4.6[m]の間にあることがわかった。次に、管路勾配については、最も勾配が急な地形は斜面であり、斜面と斜面以外の地形で異なる傾向がみられた。このため、各地形と流域全体だけでなく台地と河道沿いを累計した斜面以外で平均値、標準偏差を算出し、まとめた(表 2-3-3)。その結果、斜面では多くの管路の管路勾配が 1/18~1/50 の間にあり、斜面以外では管路勾配 1/34~1/274 の間に多くの管路があることがわかった。

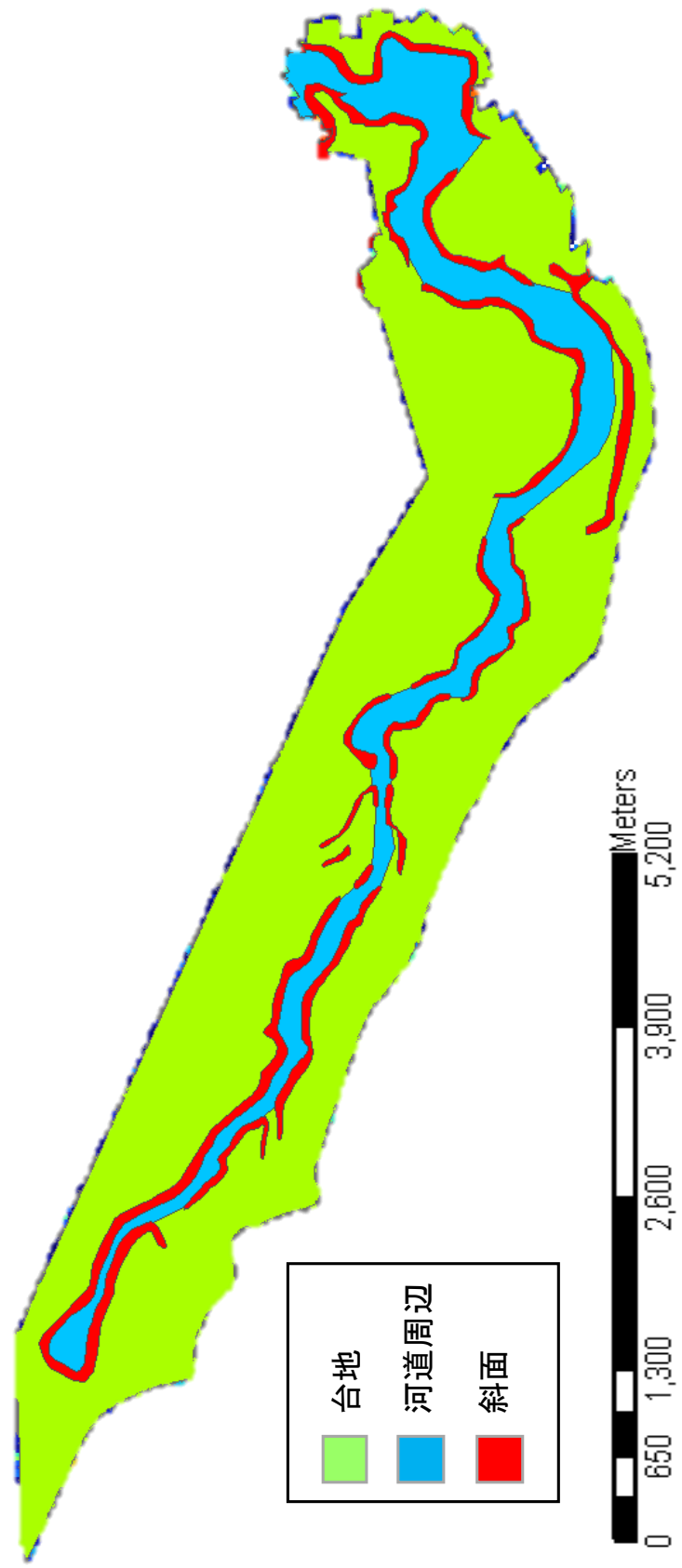


図 2-3-5 マンホール深さと管路勾配の傾向把握に用いた神田川上流域の地形区分

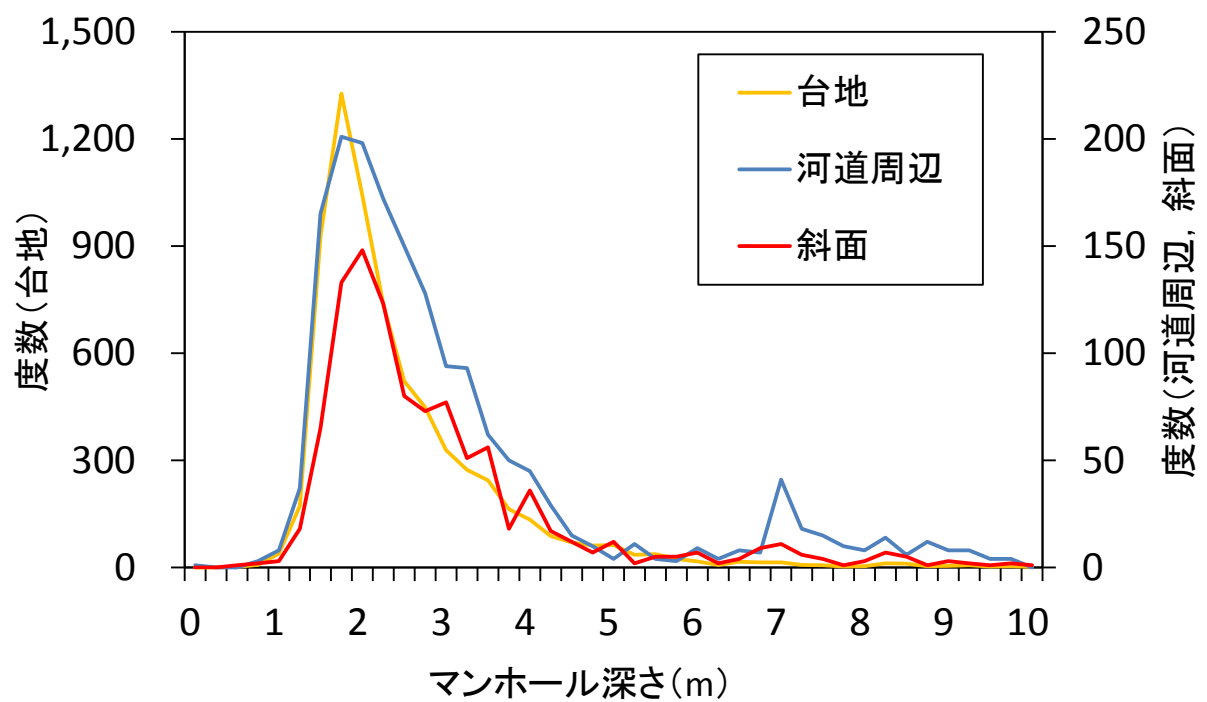


図 2-3-6 地形ごとのマンホール深さの度数分布図

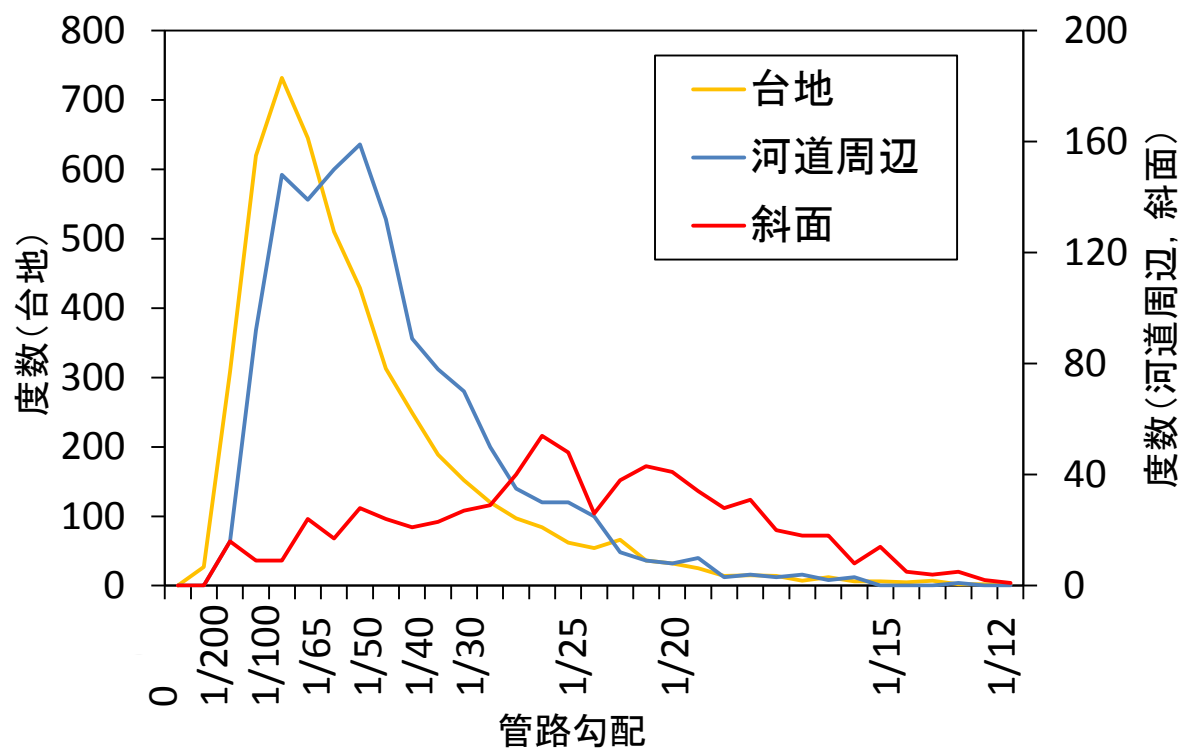


図 2-3-7 地形ごとの管路勾配の度数分布図

表 2-3-2 地形ごとのマンホール深さの平均値と標準偏差

地形区分	平均 (m)	標準偏差 (m)
台地	2.39	1.48
河道周辺	3.38	3.46
斜面	2.85	1.90
流域全体	2.61	2.06

表 2-3-3 地形ごとの管路勾配の平均値と標準偏差

地形区分	平均	標準偏差
河道周辺	1/50	1/68
斜面	1/26	1/56
台地	1/60	1/77
流域全体	1/52	1/65
河道・台地	1/57	1/74

第 3 章

雨水管路網データの構築方法

第3章 雨水管路網データの構築方法

3-1 都市流域を対象とした洪水流出解析モデルの概要

都市流域における洪水流出および浸水過程の解析モデルとして、雨水・下水道管路システムはもちろんのこと道路および河道に加え、街区内に存在する建物、駐車場、緑地などのあらゆる地物から構成される都市流域の構造を忠実に表現可能な高度な地物データ GIS を用いた洪水流出モデルとして TSR(Tokyo Storm Runoff)モデル^{5,6,7)}が提案されている。TSR モデルでは、直接流出、地表面・氾濫流、河道流および雨水・下水道管路の圧力流に対し、これら全ての流れを同時に解析することが可能となっている。TSR モデルは、街区内地利用地物要素で生じた直接流出の道路要素への流れは Kinematic Wave 法を用い、地表面地物要素の流れ、雨水・下水道管路要素の流れおよび河道地物要素の流れに対しては浸水現象を取り扱えるように Dynamic Wave 法を用いた洪水流出モデルとしている。

図 3-1-1 は、TSR モデルにおける高度な地物データ GIS を用いた都市流域の雨水流出過程である。流域内への降雨は高度な地物データ GIS から作成される街区内地物要素、道路要素および河道要素の微小要素に対して与えられる。街区内では、地物要素が持つ浸透・不浸透特性に関する情報を基に、不浸透域の降雨および浸透域の浸透能を超えた雨水を直接流出として計算し、近傍の微小道路要素への流出量を計算する。微小道路要素の水は、その要素内にマンホールが存在する場合には雨水・下水道管路に流下し、マンホールが存在しない場合には道路を流下する。

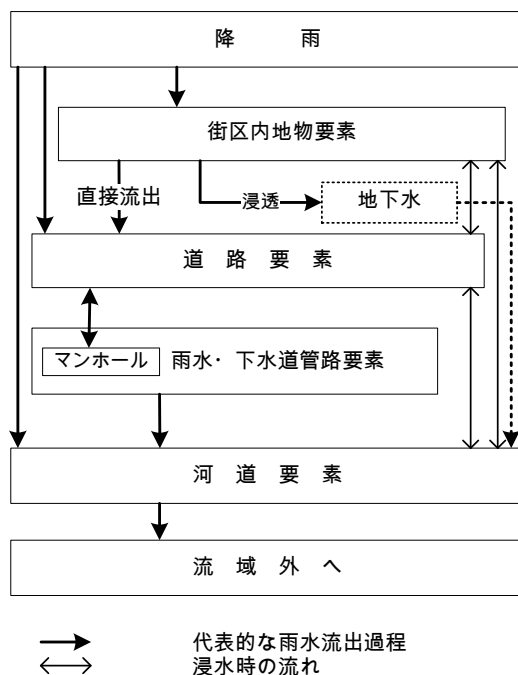


図 3-1-1 地物データ GIS を用いた雨水流出過程

雨水・下水道管路要素に対しては、まず微小道路要素との流入出量および接続管路からの流入出量によりマンホール部においてその水位を算出し、次いでマンホール部の水位と管路断面特性から流量を計算する。この計算過程において、マンホール内の水位が上昇して道路の地盤高にまで達すると、マンホール内の水は道路要素上に溢水する。溢水した水は、道路を流下し流下能力に余裕のある雨水・下水道管路の存在する道路要素において再び雨水・下水道管路に流れ込む。このように、雨水・下水道管路内の水は数々の管路網を合流して最終的には河道要素に流出し、流域外へと流去する。浸水計算においては、地表面地物要素からの流出量と雨水・下水道管路からマンホールを介した溢水量により、道路水位が周囲の街区内の地盤高以上となると水は街区に流出し、道路上の水位が低下すると街区内の水は道路に流出するとしている。本モデルは洪水流出を対象とするので降雨の直接流出成分のみを取り扱い、破線で示した地下水から河道要素への長期流出成分については考慮しないこととする。

都市流域の洪水流出解析モデルに必要となる高度な地物データ GIS としては、街区内地土地利用地物要素、地表面地物要素そして地表面地物要素間の隣接関係を規定する地表面境界要素であり、これらの要素に関する属性情報を図 3-1-2 に示す。

まず、図 3-1-2(a) はポリゴン型で表される街区内地土地利用地物要素を模式的に示している。この地物要素に対しては、図 3-1-2(d) に示すように要素番号、要素面積、土地利用種別番号、後述する流出先要素種別番号および流出先要素番号を設定する。街区内地土地利用種別は図 3-1-2(e) に示すように舗装地、建物、林地、緑地、グラウンド、間地の 6 つの種別を、また流出先要素種別は図 3-1-2(f) に示すように 4 種類設定している。ここでは、街区内地土地利用地物要素の種別は 6 分類としているが、対象流域の特性に応じてこの分類を設定することが必要である。地表面地物要素に設定する属性は図 3-1-2(g) に示すように、要素番号、要素種別番号、要素面積および排水先の雨水・下水道管路要素ノード番号(道路要素のみ)である。図 3-1-2(h), (i) に示す雨水・下水道管路地物要素のノード(マンホール)には要素番号、マンホール直径と排水先の河道要素番号を設定し、本要素のエッジ(管路)には要素番号、管路直径、管路長、上下流側管路底高および上下流側ノード番号を設定する。なお、図 3-1-2(d), (g) では街区内地土地利用地物要素と道路地物要素の流出先要素として雨水・下水道管路要素のノード番号、すなわちマンホール要素のみが設定されるように図示しているが、実際には河道地物要素付近ではマンホール要素を介さずに直接河道地物要素に流れる場合が存在する。このような場合には、流出先要素として河道地物要素を設定することとする。

次に、図 3-1-2(b) は地表面要素である街区要素、道路地物要素および河道地物要素を示しており、これらの要素に設定する属性は図 3-1-2 (g) に示すように、街区内地建物面積(街区要素のみ)、地盤高そして要素重心点座標値(X,Y)が新たに必要となる。図 3-1-2 (h), (i) に示す雨水・下水道管路地物要素に対しては、本要素のノード(マンホール)にはマンホール直径、マンホール地盤高と溢水先の道路要素番号を新たに設定する。

最後に、図 3-1-2(c) の地表面境界要素に対しては、街区要素および道路地物要素を追加し、図 3-1-2 (j) に示すように、地表面境界要素については要素番号、上下流側要素種別番号、上下流側要素番号、共有線分長、隣接要素間距離(隣接要素の重心点間距離)を設定する。

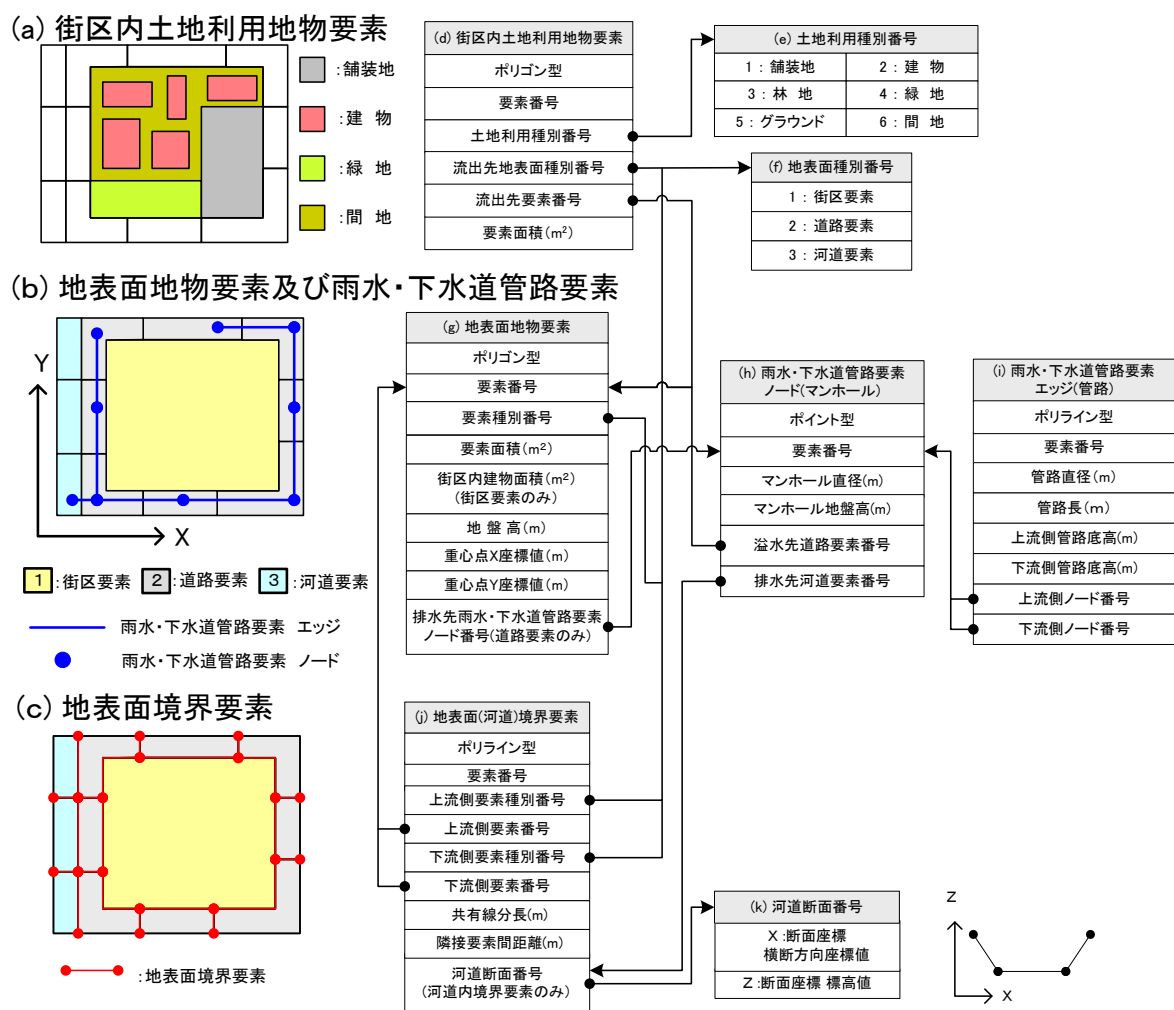


図 3-1-2 都市流域のモデル化に必要な地物データ GIS 要素とその属性情報

図 3-1-3 は、TSR モデルの計算フローを示したものである。降雨は高度な地物データ GIS として構築した地物要素毎に対して与え、その土地利用種別に基づき直接流出量を算出する。そして、流出先の道路要素では算出された直接流出量と Kinematic Wave モデルを用いて、計算した隣接する街区内地物要素からの流量を累計する。さらに当該要素内のマンホールを介して雨水・下水道管路要素へと流出させ、河道要素に至るまで管路内の流量を計算する。河道要素では、上流からの流入量および雨水・下水道管路からの流入量を合計して河道要素毎の水位や流量を算出する。また、浸水時の流れに対しては、地表面境界要素を用いて一次元の不定流計算を行っている。

TSR モデルの都市流域への適用事例については、東京都の代表的な都市河川である神田川の上流域や、神田川流域の一部である江古田川流域において洪水氾濫解析を行い、河川流量や浸水被害に関しての検証を行っている^{6)~9)}。

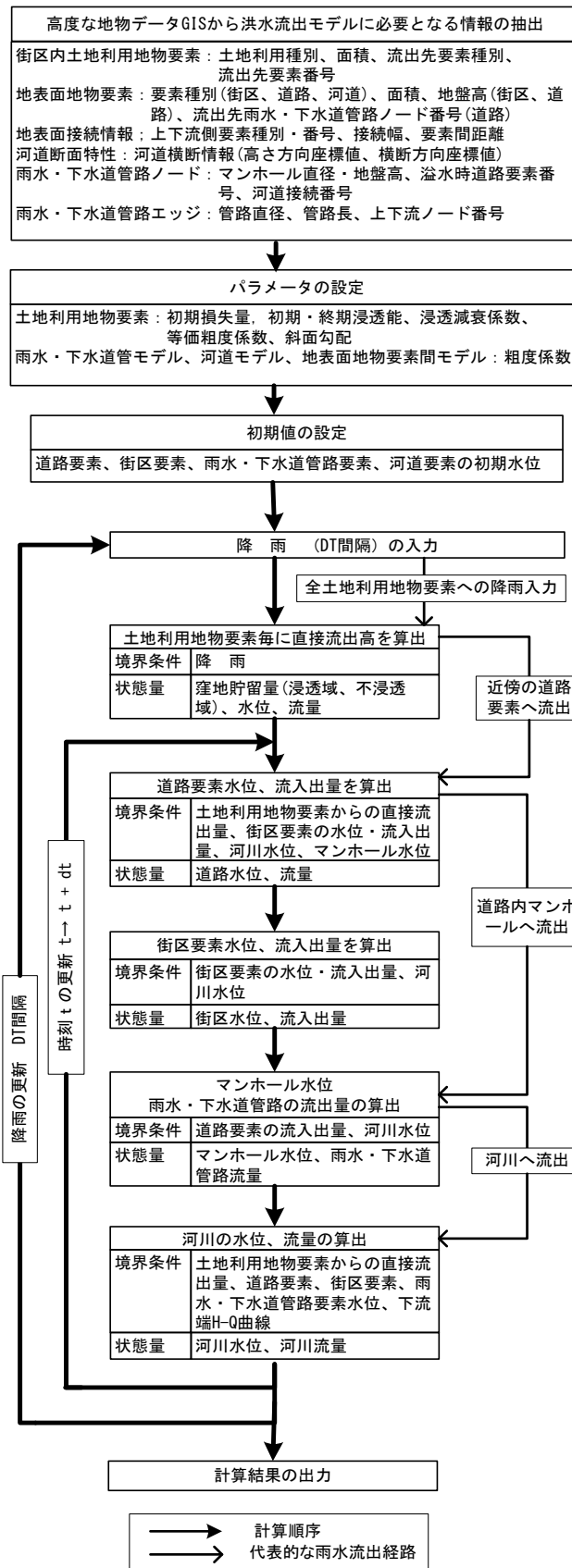


図 3-1-3 TSR モデルの計算フロー

3-2 雨水管路網データの構築方法

(1) 下水道計画における計画雨水量の設定方法

下水道は、①雨水の排除および浸水防除、②汚水の排除・処理による環境改善、そして③公共用水域の水質保全を基本的な使命としている。下水道計画は、計画排水区域を対象とした計画汚水量と計画雨水量に基づいた計画下水量により行われる。本研究で対象とする計画雨水量は、最も多く用いられている合理式により算定する。

合理式では式(3.1)を用いて最大計画雨水流出量（ピーク流量）を算定する¹⁰⁾。

$$Q_p = \frac{1}{360} \cdot C \cdot I \cdot A \quad (3.1)$$

ここに、 Q_p ：計画降雨時のピーク流量[m³/s]、 C ：流出係数、 I ：降雨強度[mm/h]、 A ：排水面積[ha]である。

流出係数は対象範囲の土地利用を把握し、工種ごとの基礎流出係数と面積から式(3.2)にあるように加重平均を行い対象範囲の総括流出係数を算定する。

$$C = \frac{\sum_i^m C_i \cdot A_i}{\sum_i^m A_i} \quad (3.2)$$

ここに、 C ：総括流出係数、 C_i ：工種ごとの基礎流出係数、 A_i ：工種ごとの総面積(ha)、 m ：工種数である。表 3-2-1 に本手法で採用した東京都における工種ごとの流出係数の例¹¹⁾を示す。

表 3-2-1 東京都の工種別基礎流出係数の例

工種	基礎流出係数
道路	0.90
建物	0.95
間地	0.30

降雨強度 I の算定は各自治体により定められた算定式を用いて行っている。降雨強度式の算定法は Talbot（タルボット）式，sherman（シャーマン）式，久野・石黒式などが挙げられる¹⁰⁾。ここでは，(3.3)式に示されている本手法において採用した東京都で用いられている降雨強度 I の算定式¹¹⁾について述べる。

$$I = \frac{5000}{t + 40} \quad (3.3)$$

ここに， t ：流達時間[min]であり，式(3.4)のように流達時間は流集時間と流下時間の和で求められる。

$$t = t_1 + t_2 \quad (3.4)$$

ここに， t ：流達時間[min]であり， t_1 ：流集時間[min]， t_2 ：流下時間[min]である。流集時間 t_1 は地表面の雨水がマンホールに集まる時間であり，5[min]としている。流下時間 t_2 は雨水が管路を流下する際の時間であり，最大管路延長 l [m] を管内平均流速 v [m/s] で除したものである。最大管路延長 l は管路の上端部と最も遠い上流側のマンホールの距離であり，最大管路延長 l を求めることで降雨強度 I を算定することできる。

排水面積 A は通常，比較的勾配のある地域では正確に地形図を決まる。しかし，平坦な地域では排水境界を地形図のみから求めることは困難で，このような場合は，道路の配置や勾配，在来水路および河川的位置や流向等を踏査によって十分に調査し，排水境界を確定し¹¹⁾，排水面積 A を決める。

合理式を用いた雨水量の設定過程は，図 3-2-1 に示す方法が一般的に利用されている。

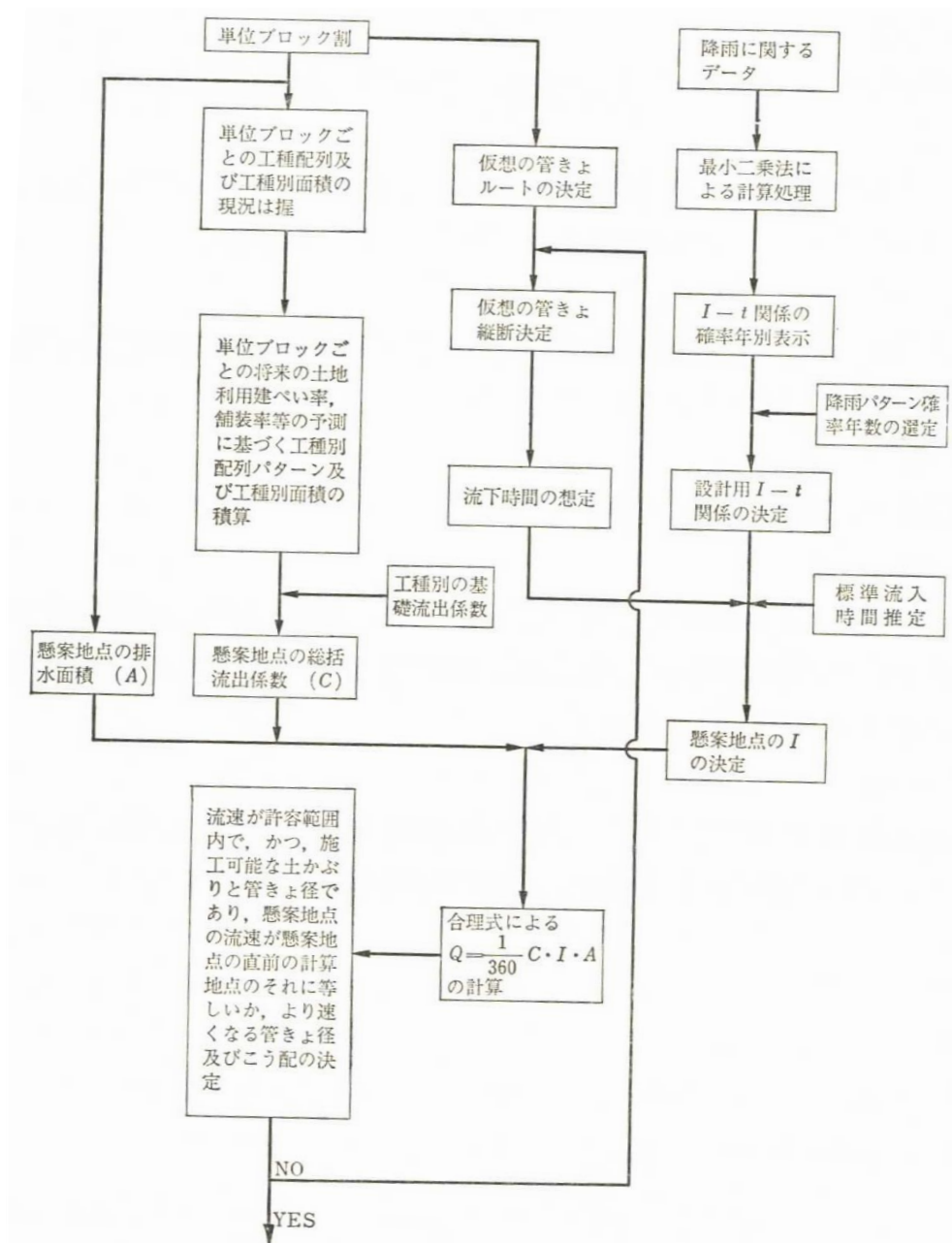


図 3-2-1 計画雨水量の算定過程の概要¹¹⁾

算定した流出係数 C ，降雨強度 I ，排水面積 A を用いて算定した計画最大雨水流出量 Q_p を流下させることができる管路断面を設定する．管路断面は管路の流下能力が計画雨水流出量を上回るように設定する．雨水管路網データでは円形管を仮定しているため円形管の流下能力の算定式は式(3.5)に示す．

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v \quad (3.5)$$

ここで， Q ：円形管の流下能力[m³/s]， D ：管路直径[m]， v ：管内流速[m/s]である．この際の管内流速の算定は一般的にはマンニングの式を用いて行う¹²⁾．

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

ここで， v ：管内流速[m/s]， n ：粗度係数， R ：径深[m]， I ：管路勾配である．

(2) 雨水管路網データ構築手順

本研究では、前項の下水道計画において行われている計画雨水量の算定方法に基づいて雨水管路網データを構築する。図 3-2-2 は雨水管路網データ構築のフローチャートを示したものである。

都市流域の洪水流出解析モデルに用いられる高度な地物データ GIS には、計画雨水量の算定に不可欠である流出係数 C に密接に関係する浸透・不浸透特性を考慮した土地利用区分および排水面積 A の情報が存在する。また、管渠ルートの設定には、管渠が道路に埋設されている状況、河川への雨水排水は橋梁付近で行われている状況などを勘案し、道路ネットワークを用いることとした。すなわち、雨水管路網データの構築ステップは、以下のようになる。

- ① 道路ネットワークの作成および排水区の設定
- ② 自然流下を考慮した管路高の設定
- ③ 計画雨水量の算定と管路直径の設定

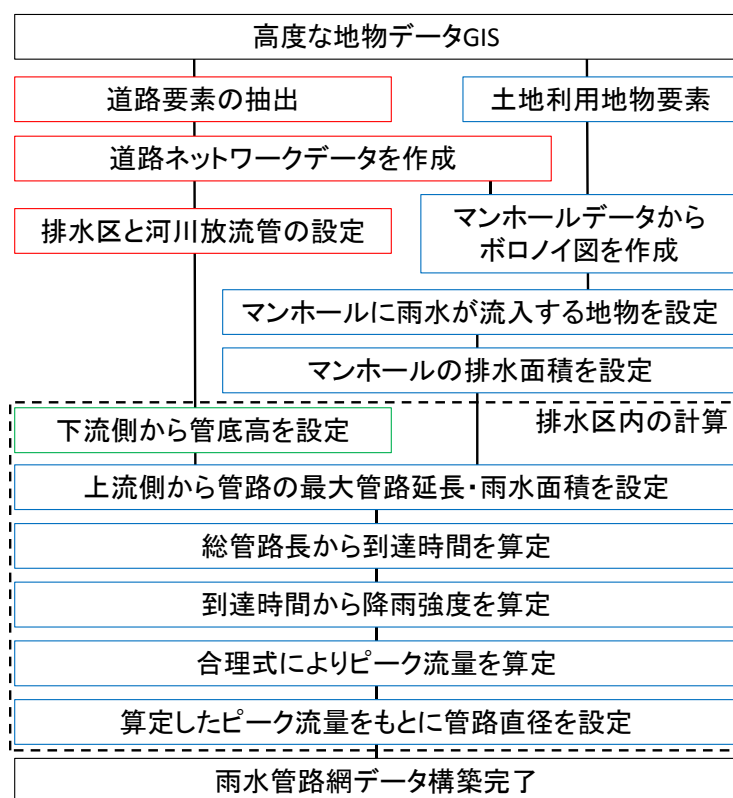


図 3-2-2 雨水管路網データ構築のフローチャート（赤枠は①，緑枠は②，青枠は③）

（３） 道路ネットワークの作成および排水区の設定

本研究では田内ら¹³⁾が開発した道路ネットワークデータの自動構築手法を用いて道路ネットワークデータを作成している．本手法ではポリゴン型の連続したデジタルデータの道路を入力とし，複雑形状の道路を単純形状の要素の集まりとして捉えることで，ひずみが少なく道路の直進性を維持した道路ネットワークデータを作成することができる．直進性が維持されることにより実際の管路形状に近いネットワークデータ構築することが可能であると考えられる．

以下では道路ネットワークデータの作成方法について述べる．

道路ネットワークデータの作成方法は図 3-2-3 のフローチャートに従い，まず 1 つの連続したポリゴンで表現された道路を交差部・単路部に分離し，次いで単路部・交差部それぞれにおいて異なる処理で道路中心線を発生させ，最後に作成した道路中心線を連結し道路ネットワークデータを構築する．

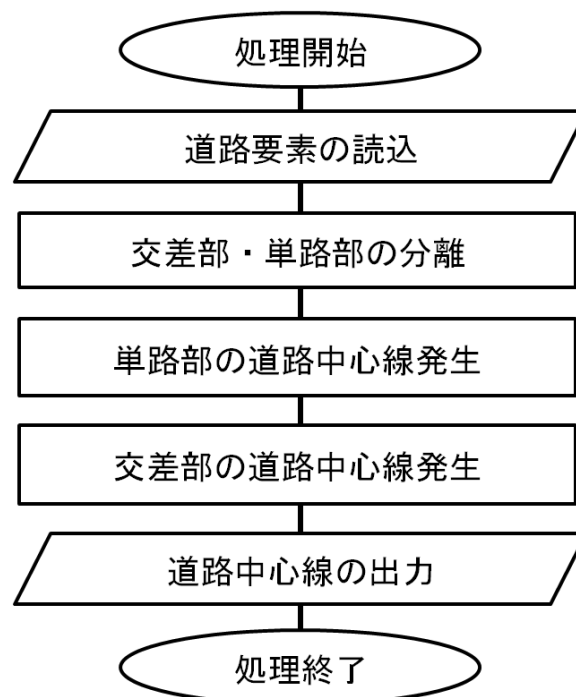


図 3-2-3 道路ネットワークデータの構築のフローチャート

① 単路部における道路中心線発生

図 3-2-4 には単路部において道路中心線を発生させる具体的な流れを示す。本手法ではまず、ラグランジュの概念を用い、図 3-2-4 a) のような単路部について道路進行方向に N 等分する線分を発生させる (図 3-2-4 b))。 N は図 3-2-4 b) に示したような、単路部両側の道路縁の長さ L_1 , L_2 を用いて以下の式 (3.7) で計算する。

$$N = \text{Round}\left(\frac{L_1 + L_2}{2L_{div}}\right) \quad (3.7)$$

ここで、Round は四捨五入を示す関数である。また、 L_{div} は線分の発生間隔を制御するパラメータであり、道路幅に対して十分に小さな値を設定することで単路部の線形を忠実に再現した道路中心線の発生が可能になる。

次いで、図 3-2-4 c) のように、隣接する線分の中点を結ぶ線を発生させ、図 3-2-4 d) のように連結することで道路中心線を作成する。この際に、作成した道路中心線には、各単路部における道路延長として中心線長さを、また、平均道路幅として N 等分する際に用いた線分長さを図 3-2-4 c) の W_1 , W_2 の平均値をそれぞれ属性として与える。

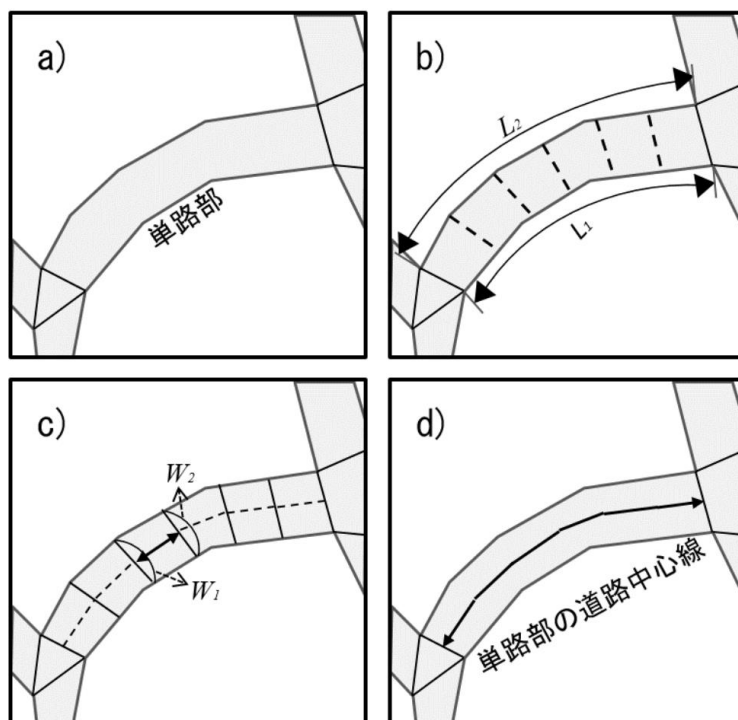


図 3-2-4 単路部における道路中心線発生の流れ, a) 単路部の例, b) 道路進行方向への分割, c) 道路中心線発生と道路幅計算, d) 道路中心線の連結

② 交差部における道路中心線発生

図 3-2-5 は交差部において道路中心線を発生させる具体的な流れを示している。本手法では交差部を直進する道路をその交差部における主軸道路として抽出し、主軸道路の道路中心線を優先し作成することで道路の直進性を維持している。

まず、図 3-2-5 a) のような n 差路の交差部に接続する単路部に番号を付け、交差部ポリゴンの属性として単路部の道路中心線の方向 $t_1, t_2 \cdots t_n$ および、道路幅 $w_1, w_2 \cdots w_n$ を設定する。次いで、図 3-2-5 b) における c_{ij} のように、単路部 i, j の組み合わせに対する、中心線間を結ぶ線分を発生させ、線分と単路部の中心線間とでなす角度 ($\theta_{ij1}, \theta_{ij2}$ など) を計算し、角度の平均値 θ_{ij} を計算する。この計算を交差部に接続する単路部の全ての組み合わせで行い各 θ_{ij} を求める。 θ_{ij} は交差部を介しての道路の湾曲度合を示すパラメータであり、180 度に近いほど交差部をまっすぐ通過する道路であるといえる。また、同様に、単路部平均道路幅の比 R_{ij} を計算しておく。ただし、 R_{ij} は 1 以上の値をとる実数とし、 R_{ij} が計算上 1 以下となる場合には逆数をとることとする。すなわち R_{ij} は交差部に接続する単路部道路幅の比を表すパラメータであり、これが 1 に近いほど交差部を介しての道路幅の変化が小さく、交差部の主軸となる道路であると考えられる。

次に、 R_{ij} が閾値 R_c 以下を満たし、 θ_{ij} が閾値 θ_c よりも大きくかつ最も 180 度に近い線分を、主軸の道路中心線として抽出する (図 3-2-5 c))。主軸として選ばれた単路部 i, j を除いた交差部を考え、同様の手法ではかの主軸を抽出する操作を逐次繰り返す。すなわち図 3-2-5 d) のように、交差部によっては 2 本以上の主軸の道路中心線が得られる場合がある。これを主軸の中心線が発生しなくなるまで繰り返し、交差部における主軸の道路中心線を得る。

主軸以外の単路部については、交差部分離線の中心を始点とする線分を発生させ、道路中心線とする。すなわち、図 3-2-5 e) のように単路部から延長した道路中心線を主軸との交差点を終点とする道路中心線を作成する。

最後に、交差部内の道路中心線について、図 3-2-5 f) に示すように発生させた道路中心線の交点および始点・終点をノード、ノードで分割した道路中心線をリンクとすることで、交差部内の道路中心線をネットワーク化する。さらに交差部と接合する単路部の道路中心線と交差部内のリンクを接続し、道路ネットワークデータを生成する。

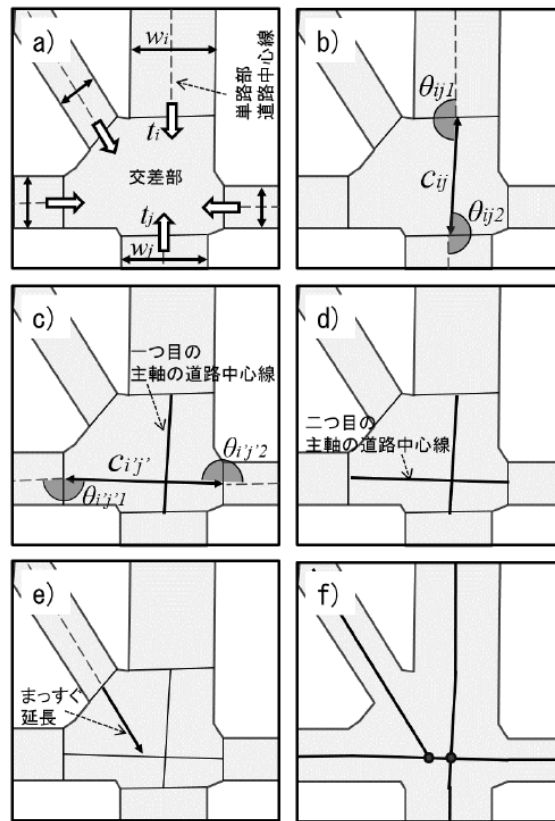


図 3-2-5 交差点における道路中心線の発生と道路ネットワークデータ生成の流れ, a) 交差点の例と接続する単路部の方向・道路幅, b) 単路部の組み合わせ作成, c) 主軸の道路中心線発生, d) 複数の主軸の道路中心線発生, e) 主軸以外の単路部からの道路中心線延長, f) 道路ネットワークデータの生成

③ 道路ネットワークデータを活用した雨水管路網の作成

雨水管路網データは、ノードとなるマンホールとノード間の接続関係を表すリンクを管路としたネットワーク構造で表現される。実務において雨水管路の配置を設計する場合には、マンホールは管路の起点、合流点、直線部などに配置し、直線部では管路直径によって最大の配置間隔が定められている¹⁴⁾。本手法においても基本的にこの設計方法にならい、マンホールは管路の起点および合流点に配置するほか、直線部でのマンホールの間隔を最大値 50[m]を設定することとした。

表 3-2-2 は、TSR モデルなどの洪水流出解析モデルで必要とされる雨水管路網データのマンホールおよび管路の属性情報は示したものである。図 3-2-6 のように全てのマンホールと管路には固有の番号を振ることで識別を行う。マンホールについては、管路との接続情報としてマンホールに接続している管路数と接続している管路番号、地盤高は図 3-2-7 に示しているようにマンホールが位置する道路の高さである。マンホール底高は図 3-2-7 に示されているマンホールの底の高さである。管路の属性については、マンホールとの接続情報として管路の両端に接続しているマンホール番号と 1 本の管路の長さである管路長、管路断面の直径をあらわす管路直径、そして、図 3-2-7 に示す管路の管底部がマンホールと接続する部分の高さである管底高が必要である。ここで、雨水管路網データでは管路断面を円形管と仮定している。

表 3-2-2 TSR モデルに必要な管路とマンホールの属性情報

項 目	
マン ホ ール	マンホール番号
	接続管路数
	接続している管路番号
	地盤高(T.P.m)
	マンホール底高(T.P.m)
管 路	管路番号
	マンホール始点番号
	マンホール終点番号
	管路長(m)
	管路直径(m)
	上流側管底高(T.P.m)
	下流側管底高(T.P.m)

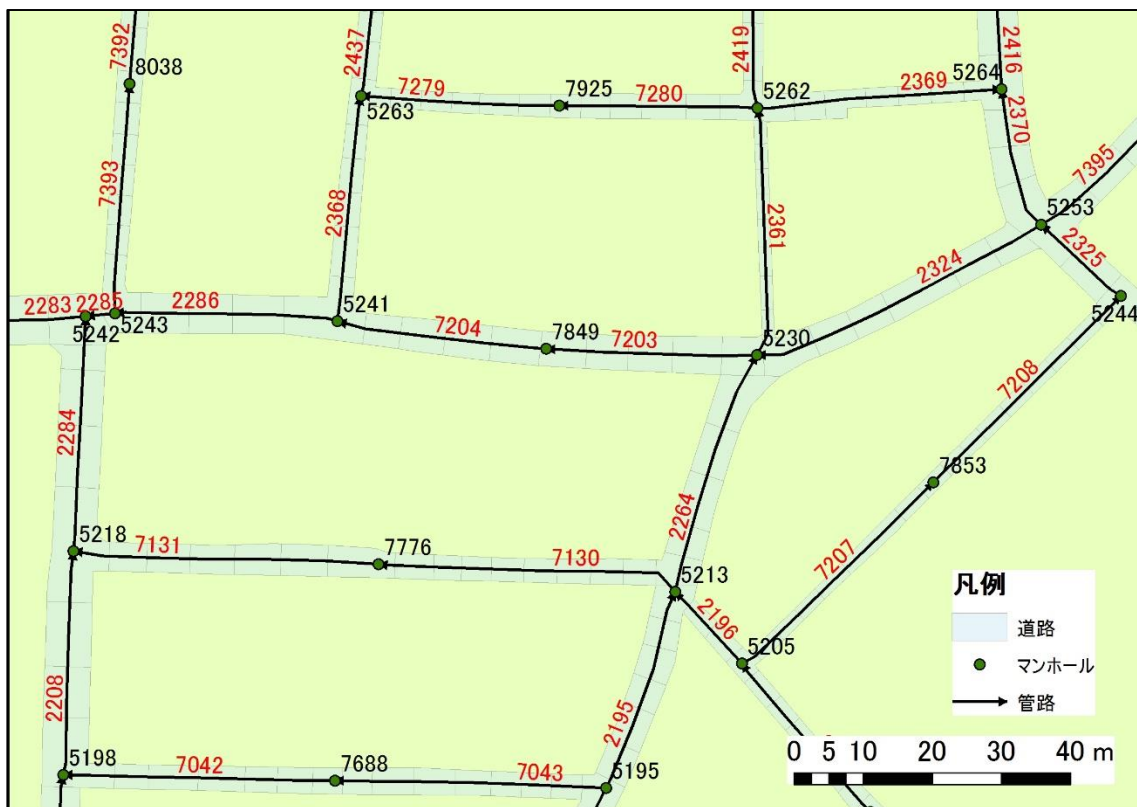


図 3-2-6 マンホールと管路の接続状況の例（黒字はマンホール番号，赤字は管路番号）

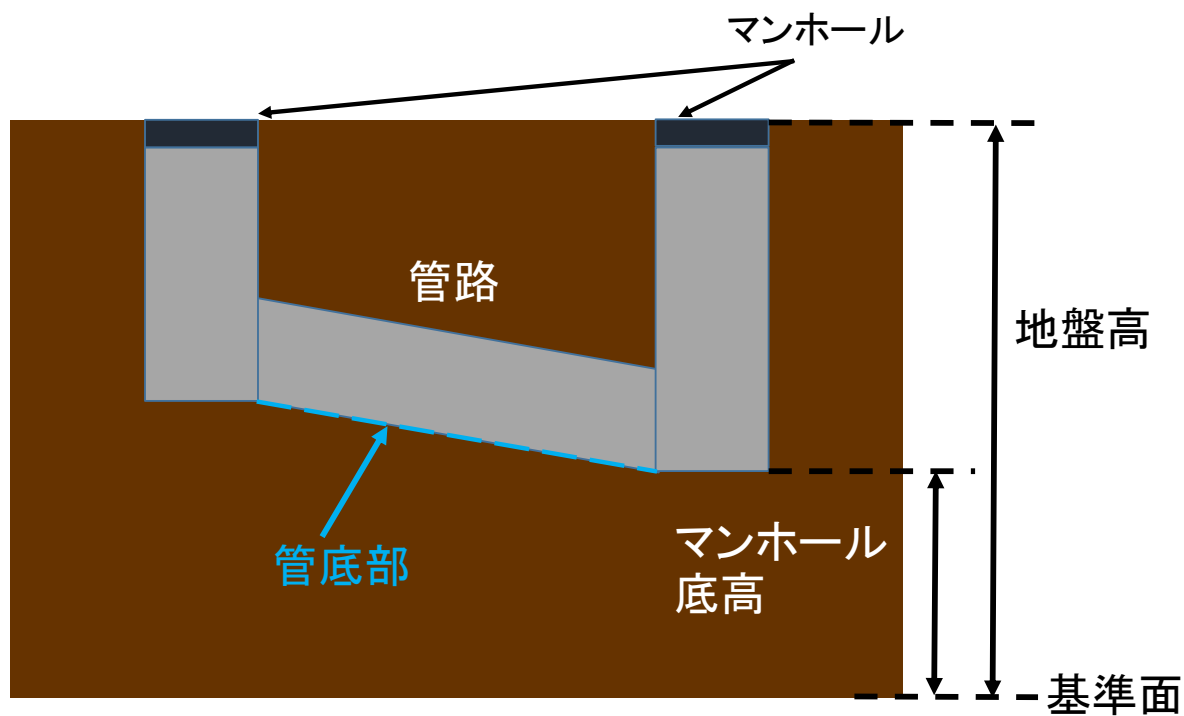


図 3-2-7 マンホールと管路の埋設状況の断面図

道路ネットワークデータから作成した管路網に表 3-2-2 に示した属性情報を設定することで雨水管路網データの構築は完了する。

マンホールの属性設定については管路との接続情報である接続管路数および接続している管路番号は管路網から GIS 上で設定を行うことが可能である。また、地盤高は道路データから設定を行うことができ、マンホール底高は接続している管路の管底高から算定を行う。この際に、複数の管路と接続している場合は最も低い管底高の値を採用する。

管路の属性情報についてはマンホールとの接続情報であるマンホール始点・終点番号はマンホールと同様に GIS 上で設定を行うことが可能である。管路長は GIS 上での平面的な長さ、すなわち道路ネットワーク上の隣接するマンホール間の距離を用いた。上流側・下流側管底高および管路直径は容易に設定することができない。このため、管路の管底高と管路直径については個々に設定する必要がある。本手法では、管路の属性情報である管底高と管路直径の設定に自動化プログラムを用いることで短時間での設定を可能とした。

④ 流域の小領域分割

本手法では道路ネットワークに河川への放流管を追加する必要がある，実際の放流管の位置を参考に橋に接続している道路や道路幅の大きい道路に配置を行うことで道路ネットワークから仮想的な雨水管路網が作成される．実際の雨水管路網と道路ネットワークではネットワーク形状が異なる（図 3-2-8）．実際の雨水管路網のネットワーク形状は一般的に河川への放流管を起点とし，幹線と枝線からなる樹枝状のネットワークになっている．それに対し，道路ネットワークを用いた雨水管路網のネットワーク形状は網目状のネットワークとなっている．実際の雨水管路網は概ね各マンホールに流入する雨水が放流する管路が決まっている．本手法では河川への放流管を起点として，管底高を設定する．このため，各マンホールに流入する雨水がどの放流管から河川へ放流するかが決まっている必要がある．そこで，流域の上流側から河川への放流管の通っている道路を境界とし，小領域に分割していき，排水区を設定する．設定した排水区内の管路を流下する全ての雨水は各排水区に 1 つずつある河川への放流管から河川へ放流されるようにする．

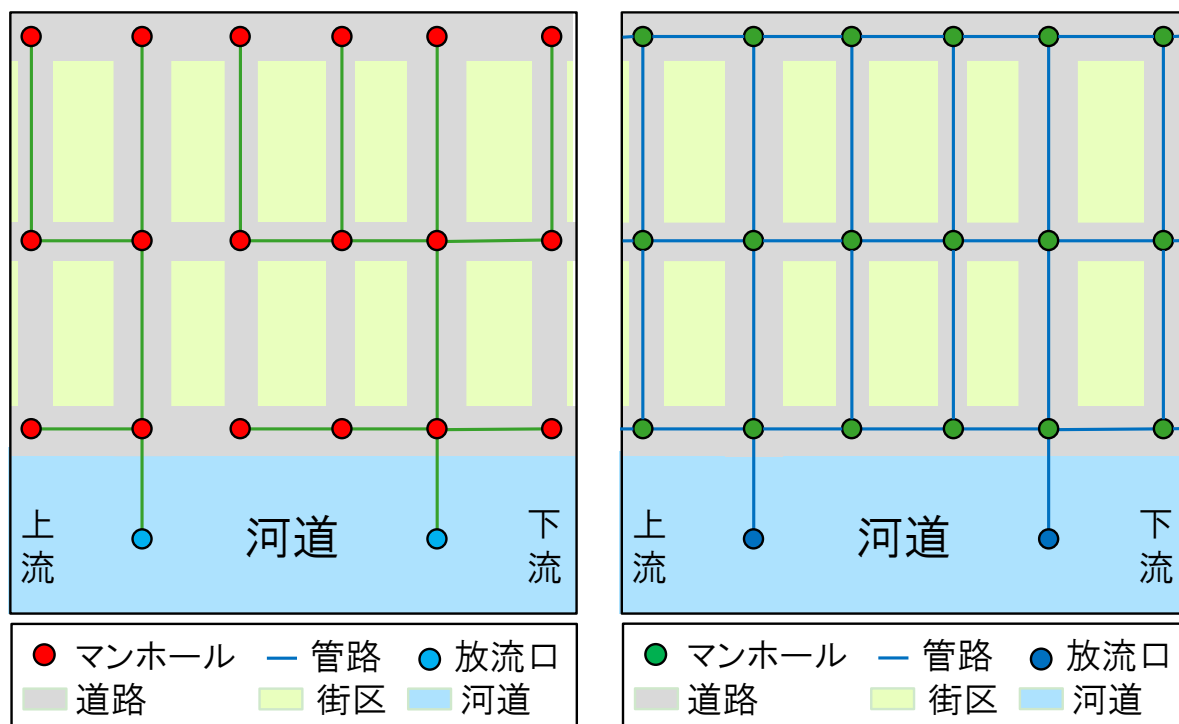


図 3-2-8 実際の雨水管路網（左）と道路ネットワークを用いた雨水管路網（右）のネットワーク形状の違い

(4) 管底高の設定方法

管底高の設定は前述の排水区ごとに行う。本研究では、雨水管路網はポンプ等を用いず、自然流下で雨水の河川へ排水することを想定し、管底高を設定する。このため、排水区内の下流端となる河川への放流管を始点とし、上流側に向かって設定する。河川への放流管の下流側管底高は河床高 + 50[cm]とし、上流側管底高を上向きに 1/100 の勾配をつけて設定を行う (図 3-2-9 a)。そして、設定した上流側管底高を次の管路の下流側管底高に設定し、同様に上流側管底高を設定していく。これを繰り返して排水区内の全ての管路の管底高を設定する。その際に、図 3-2-9 b) のように管路の深さ (地盤高 - 管底高) が 5[m] よりも深くなる場合は管路の深さが 5m になるように補正を行う (図 3-2-9 c)。同様に、1[m] よりも浅くなる場合には補正を行い、全ての管路の (地盤高 - 管底高) が 1[m] ~ 5[m] の範囲内になるように管底高を設定する (図 3-2-9 d)。

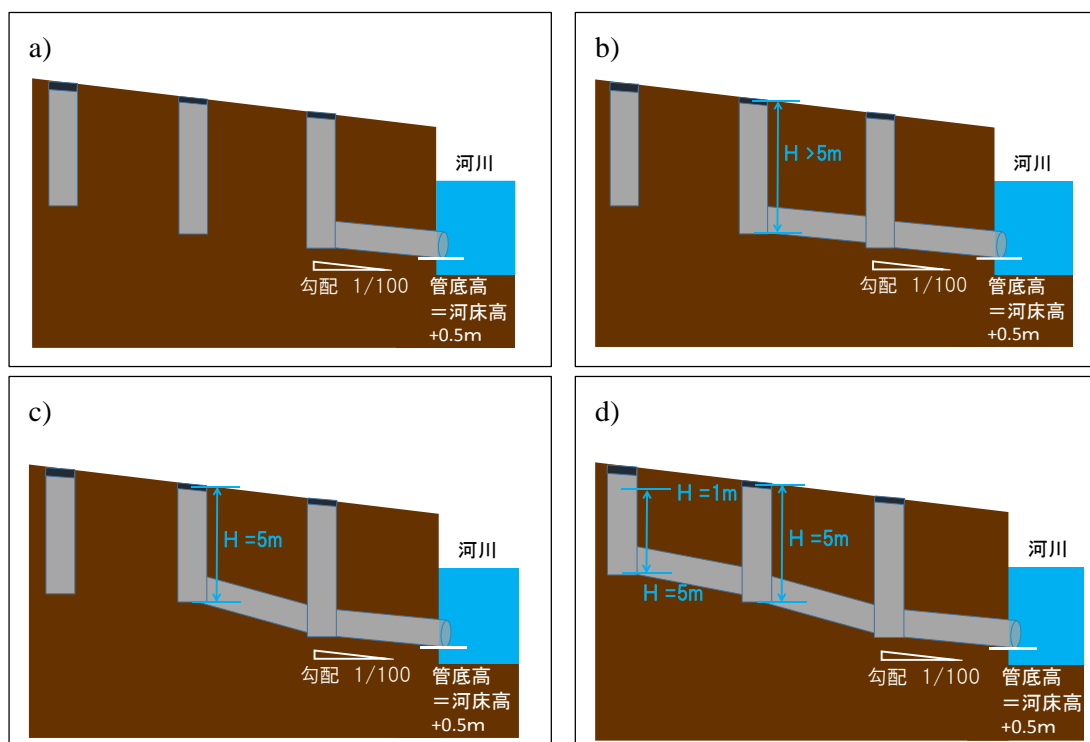


図 3-2-9 管底高設定の流れ, a) 放流管の下流側管底高から設定を始める, b) 接続先で地盤高 - 管底高が 5m 以上の場合, c) 地盤高 - 管底高が 5m になるように補正, d) 全ての管路の地盤高 - 管底高が 1m ~ 5m の範囲内になるように管底高を設定

(5) 管路直径の設定方法

本手法では、雨水が管路に流入する管路上端地点、すなわち管路上流側のマンホール地点における総括流出係数 C 、降雨強度 I 、排水面積 A を算定して、合理式(3.1)により計画降雨時のピーク流量 Q_p を算定し、管路直径は円形管とした算定式(3.5)を用いて設定する。総括流出係数 C と排水面積 A は高度な地物データ GIS の土地利用地物を、降雨強度 I の算定に利用する流達時間 t は最大管路延長 l と管内平均流速 v を用いて設定する

まず、流出係数 C については、高度な地物データ GIS の土地利用地物に設定されている土地利用種別から表 3-2-1 に示されている工種に分類する。本手法で設定した工種毎の流出係数は、道路 ($C_r : 0.90$)、建物 ($C_b : 0.95$) およびその他 (流出係数 $C_o : 0.30$) である。次いで、図 3-2-10 のようにマンホールを母点としたティーセン分割を行い、マンホールに設定された支配領域内を微小排水区 (排水面積 A) とする。土地利用地物の重心点が同一の微小排水区となる地物を対象に、個々の地物面積を用いた加重平均により総括流出係数 C を設定する。すなわち、総括流出係数 C は式(3.2)を用いて算定し、排水面積 A は土地利用地物の地物面積を用いる。例えば、図 3-2-10 のマンホール M_1 の微小排水区に設定された土地利用地物を用いて、道路が $A_r : 0.02[\text{ha}]$ 、建物が $A_b : 0.04[\text{ha}]$ 、その他が $A_o : 0.1[\text{ha}]$ であった場合、マンホール M_1 の総括流出係数 C_1 は式(3.8)のように計算して求めることができる。

$$C_1 = \frac{0.90 \times 0.02 + 0.95 \times 0.04 + 0.30 \times 0.1}{0.02 + 0.04 + 0.1} = 0.53 \quad (3.8)$$

また、マンホール M_1 の排水面積 A_1 は地物面積の合計値から算出し、 $A_1 = 0.16[\text{ha}]$ と求める。

総括流出係数 C_M と排水面積 A_M を下流側の管路へ累加していくことで、任意地点での管路上端地点の値を算定することができる。

式(3.3)を用いて降雨強度 I の算定するには、流達時間 t を求めることが必要である。流達時間 t は、最上流地点のマンホールから雨水管路上端までの距離 (最大管路延長 l) とその流下時間を用いて算定することができる。そこで本手法では、最大管路延長 l は管路の長さを用いて対象管路の上流側マンホール地点から上流側に向かって最上流地点のマンホールとの距離を設定する。上流側マンホール地点での累加距離に、対象とする管路の管路距離を加えて下流側の管路の管路距離とする。そして、流下時間 t_2 は得られた最大管路延長 l を管内平均流速 v で除して求める。

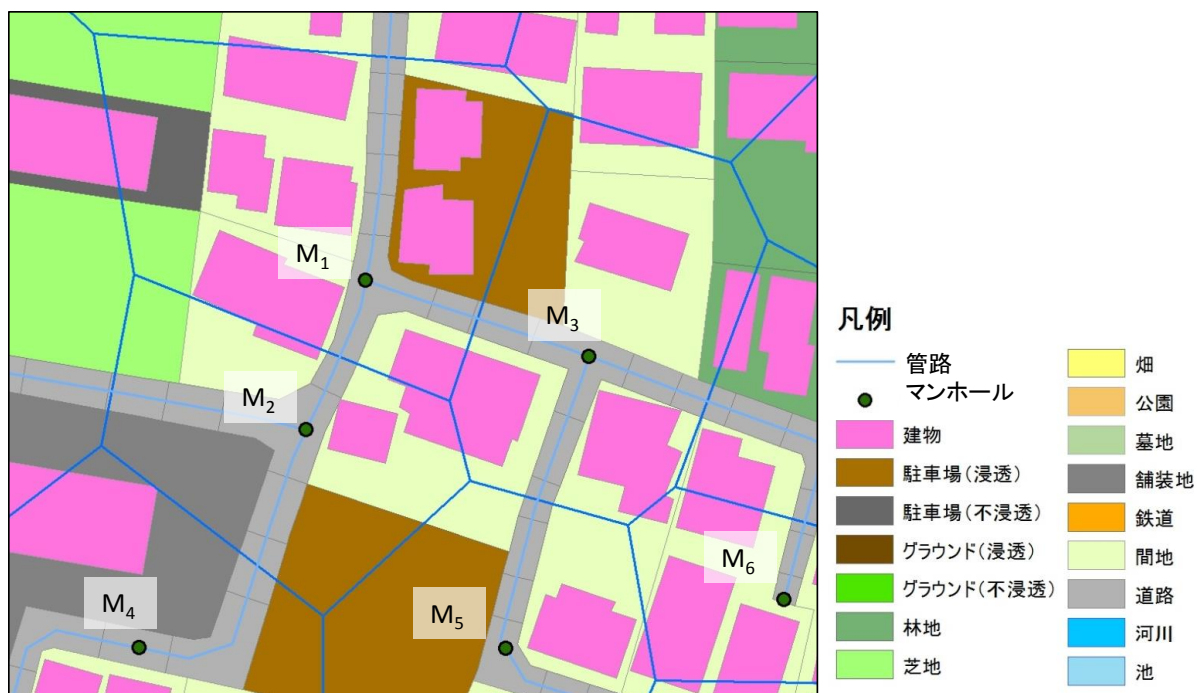


図 3-2-10 マンホールを用いた微小排水区の設定

本研究では、管路網とした雨水管路網データの構築を目指しているので、①直線部に加えて、②合流部および③分流部での処理を考慮する必要がある。以下では、これら3パターンの場合についての具体的な処理方法について示す。

まず、最も基本的な累加方法である図 3-2-11 のような①直線部について述べる。また、図 3-2-11 のマンホールおよび管路のそれぞれの値の累加状況を表 3-2-3、表 3-2-4 に示す。全微小排水区を対象に、工種ごとの面積率の変化を考慮した総括流出係数 C_M と排水面積 A_M を掛けあわせて CA_M とし、この CA_M を微小排水区のマンホールに設定する（表 3-2-3）。管路の最上流地点より順番に、管路上流側マンホールの CA_M を下流側に接続するマンホールにおける微小排水区の値 CA_M に加えて、管路に CA_P を設定する。また、最大管路延長 l は上流側管路の管路長の累加距離として求める。ここで、管路の上端部と最も遠いマンホールの距離を求めるので、自身の管路長は加えない。このようにして、全管路に管路上端部での流出係数を乗じた排水面積 CA_P および降雨強度 I を求めるための最大管路延長 l を設定していく。

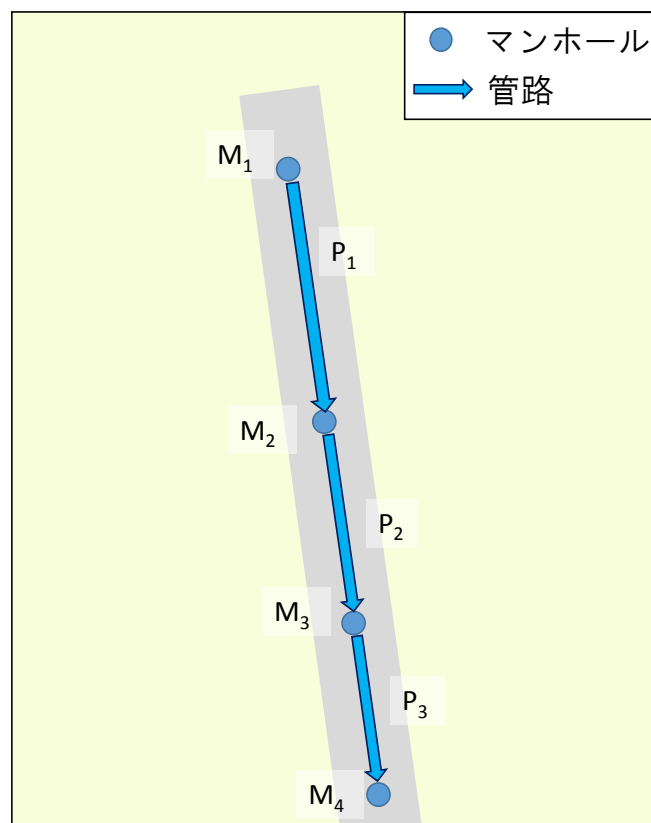


図 3-2-11 直線部におけるマンホールと管路の接続（管路の矢印は流下方向）

表 3-2-3 図 3-2-11 における微小排水区の総括流出係数と排水面積

マンホール 番号	総括 流出係数 C	排水面積 A	流出係数を乗じた 排水面積 CA
		(ha)	(ha)
M_1	C_{M1}	A_{M1}	CA_{M1}
M_2	C_{M2}	A_{M2}	CA_{M2}
M_3	C_{M2}	A_{M3}	CA_{M3}
M_4	C_{M4}	A_{M4}	CA_{M4}

表 3-2-4 図 3-2-11 における管路上端部の流出係数，排水面積および流達時間

管路 番号	流出係数を乗じた 排水面積 CA (ha)	管路長 (m)	最大管路延長 (m)	流集時間 t_1 (min)	流下時間 t_2 (min)	流達時間 t (min)
P_1	$CA_{P1} = CA_{M1}$	L_{P1}	$L_1 = 0$	5	$t_{21} = L_1 / v$	$t_1 = 5 + t_{21}$
P_2	$CA_{P2} = CA_{P1} + CA_{M2}$	L_{P2}	$L_2 = L_1 + L_{P1}$	5	$t_{22} = L_2 / v$	$t_2 = 5 + t_{22}$
P_3	$CA_{P3} = CA_{P2} + CA_{M3}$	L_{P3}	$L_3 = L_2 + L_{P2}$	5	$t_{23} = L_3 / v$	$t_3 = 5 + t_{23}$

(※) v は管内平均流速である。

次に、図 3-2-12 のような②合流部について述べる。図 3-2-12 の管路へのそれぞれの値の累加状況は表 3-2-5、表 3-2-6 に示す。CA の累加については合流部では P_2 と P_3 の両方の CA_P 値を合算し、 P_4 の管路の CA_P を設定する。最大管路延長 l は合流地点において合流する 2 つ管路延長の最大管路延長 l の累加距離の長い方を採用する。すなわち、図 3-2-12 のような場合に管路 P_4 の上端部での最大管路延長を求める際に、表 3-2-6 に示されている管路長について $L_1 + L_2 > L_3$ である場合では P_2 の最大管路延長 l を累加距離を用いて算定する。

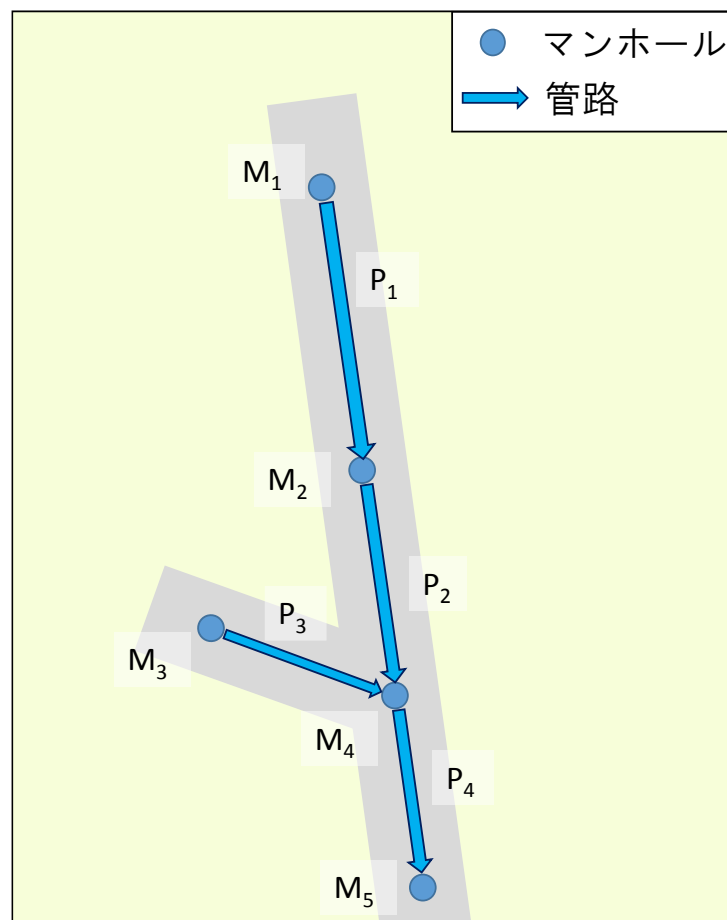


図 3-2-12 合流部におけるマンホールと管路の接続（管路の矢印は流下方向）

表 3-2-5 図 3-2-12 における微小排水区の総括流出係数と排水面積

マンホール 番号	総括 流出係数 C	排水面積 A	流出係数を乗じた 排水面積 CA
		(ha)	(ha)
M_1	C_{M1}	A_{M1}	CA_{M1}
M_2	C_{M2}	A_{M2}	CA_{M2}
M_3	C_{M2}	A_{M3}	CA_{M3}
M_4	C_{M4}	A_{M4}	CA_{M4}
M_5	C_{M5}	A_{M5}	CA_{M5}

表 3-2-6 図 3-2-12 における管路上端部の流出係数，排水面積および流達時間

管路 番号	流出係数を乗じた 排水面積 CA (ha)	管路長 (m)	最大管路延長 (m)	流集時間 t_1 (min)	流下時間 t_2 (min)	流達時間 t (min)
P_1	$CA_{P1} = CA_{M1}$	L_{P1}	$L_1 = 0$	5	$t_{21} = L_1 / v$	$t_1 = 5 + t_{21}$
P_2	$CA_{P2} = CA_{P1} + CA_{M2}$	L_{P2}	$L_2 = L_1 + L_{P1}$	5	$t_{22} = L_2 / v$	$t_2 = 5 + t_{22}$
P_3	$CA_{P3} = CA_{M3}$	L_{P3}	$L_3 = 0$	5	$t_{23} = L_3 / v$	$t_3 = 5 + t_{23}$
P_4	$CA_{P4} = CA_{P2} + CA_{P3} + CA_{M4}$	L_{P4}	$L_4 = L_2 + L_{P2}$	5	$t_{24} = L_4 / v$	$t_4 = 5 + t_{24}$

(※) v は管内平均流速である。

最後に、図 3-2-13 のような③分流部について述べる。 B_3 、 B_4 はそれぞれ P_3 、 P_4 の管路が位置する道路の道路幅を示している。図 3-2-13 の管路へのそれぞれの値の累加状況は表 3-2-7、表 3-2-8 に示す。分流が発生する場合、 CA を 2 つの分流先の管路へ分配を行う必要がある。分配方法は分流先の管路が位置する道路の道路幅 B の比率を用いて道路幅の大きい道路に位置する管路の CA 値が大きくなるように分配する。最大管路延長 l は直線部と同様に累加距離を分流する管路の両方に採用し、算定する。

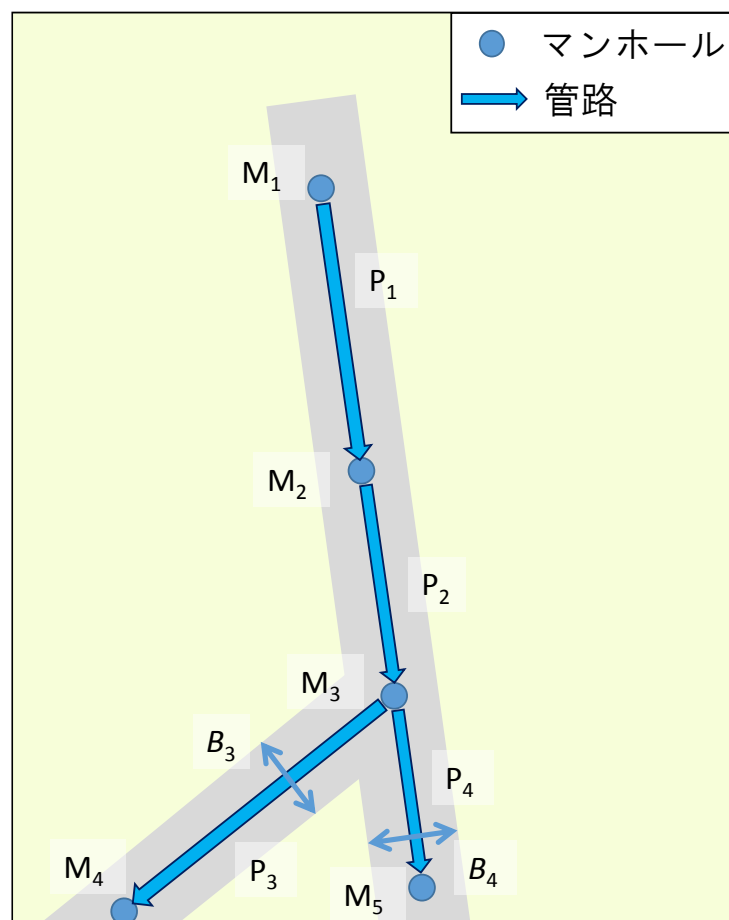


図 3-2-13 分流部におけるマンホールと管路の接続（管路の矢印は流下方向）

表 3-2-7 図 3-2-13 における微小排水区の総括流出係数と排水面積

マンホール 番号	総括 流出係数 C	排水面積 A	流出係数を乗じた 排水面積 CA
		(ha)	(ha)
M_1	C_{M1}	A_{M1}	CA_{M1}
M_2	C_{M2}	A_{M2}	CA_{M2}
M_3	C_{M2}	A_{M3}	CA_{M3}
M_4	C_{M4}	A_{M4}	CA_{M4}
M_5	C_{M5}	A_{M5}	CA_{M5}

表 3-2-8 図 3-2-13 における管路上端部の流出係数，排水面積および流達時間

管路 番号	流出係数を乗じた 排水面積 CA (ha)	管路長 (m)	最大管路延長 l (m)	流集時間 t_1 (min)	流下時間 t_2 (min)	流達時間 t (min)
P_1	$CA_{P1} = CA_{M1}$	L_{P1}	$L_1 = 0$	5	$t_{21} = L_1 / v$	$t_1 = 5 + t_{21}$
P_2	$CA_{P2} = CA_{P1} + CA_{M2}$	L_{P2}	$L_2 = L_1 + L_{P1}$	5	$t_{22} = L_2 / v$	$t_2 = 5 + t_{22}$
P_3	$CA_{P3} = B_3 \times (CA_{P2} + CA_{M3}) / (B_3 + B_4)$	L_{P3}	$L_3 = L_2 + L_{P2}$	5	$t_{23} = L_3 / v$	$t_3 = 5 + t_{23}$
P_4	$CA_{P4} = B_4 \times (CA_{P2} + CA_{M3}) / (B_3 + B_4)$	L_{P4}	$L_4 = L_2 + L_{P2}$	5	$t_{24} = L_4 / v$	$t_4 = 5 + t_{24}$

(※) v は管内平均流速である。

これらから、全ての管路の上端地点における流出係数 C 、降雨強度 I 、排水面積 A を算定し、合理式から管路に流入する計画降雨時のピーク流量を算定する。

算定した計画降雨時のピーク流量を流下できるように、管路直径を設定する。管路の流下能力の算定式は式(3.5)を用いる。本手法では簡易的に管内流速 v は降雨強度 I を算定する際と同様の管内平均流速を用いる。これらから管路直径の設定を行うことで雨水管路網データの構築が完了する。

第 4 章

神田川上流域における 雨水管路網データの構築と評価

第4章 神田川上流域における雨水管路網データの構築と評価

4-1 神田川上流域における雨水管路網データ構築に用いたデータ

神田川上流域における雨水管路網データ構築には対象流域の高度な地物データ GIS（図 2-1-2）と道路要素から作成した道路ネットワーク（図 4-1-1）を用いた。神田川上流域における高度な地物データ GIS の地物要素数は 104,342 個、建物、道路、緑地、舗装地の流域面積に対する面積率はそれぞれ 29%、16%、9%および 3%である。高度な地物データ GIS の道路要素から作成された道路ネットワークデータは総道路延長 344,674[m]である。この道路ネットワークデータを用いて管路網を作成し、神田川上流域の高度な地物データ GIS を用いて管路直径を求めるための排水面積、流出係数を算定する。

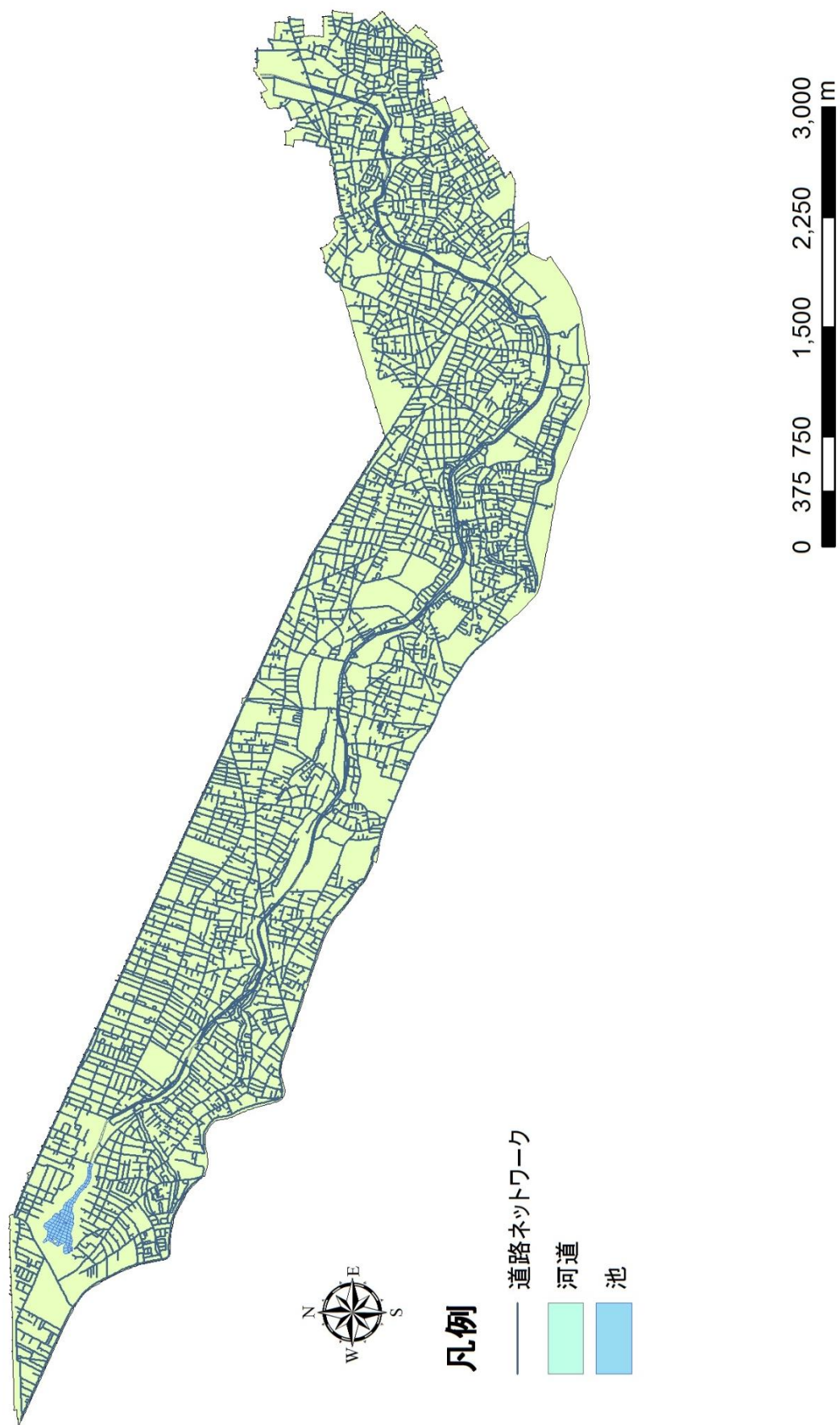


図 4-1-1 神田川上流域の道路ネットワーク

4-2 神田川上流域における雨水管路網データの構築

第3章で述べた手法を用いて神田川上流域において雨水管路網データの構築を行った。前節で述べた神田川上流域の道路ネットワークデータの起点、合流点および直線部にマンホールを配置し、河川への放流管を追加して管路網を作成した。河川の放流管は実雨水管路網データの放流管位置を参考に道路幅の大きい道路や橋に接続している道路に配置した。作成した管路網は図 4-2-1 に示した。河川の放流管の位置から道路を境界にして、対象流域を 34 個の小領域に分割した（図 4-2-2）。

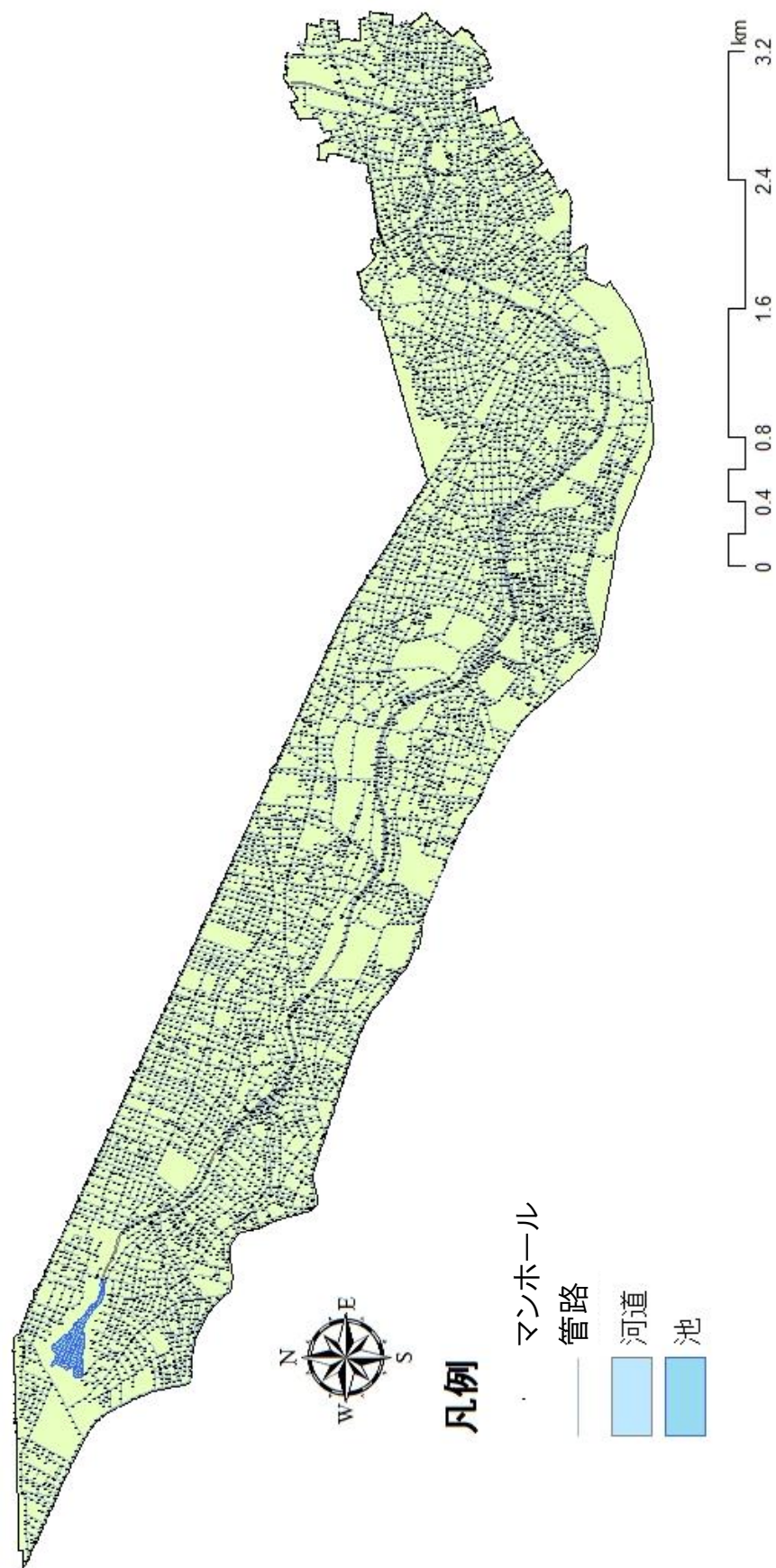


図4-2-1 道路ネットワークデータから作成した管路網

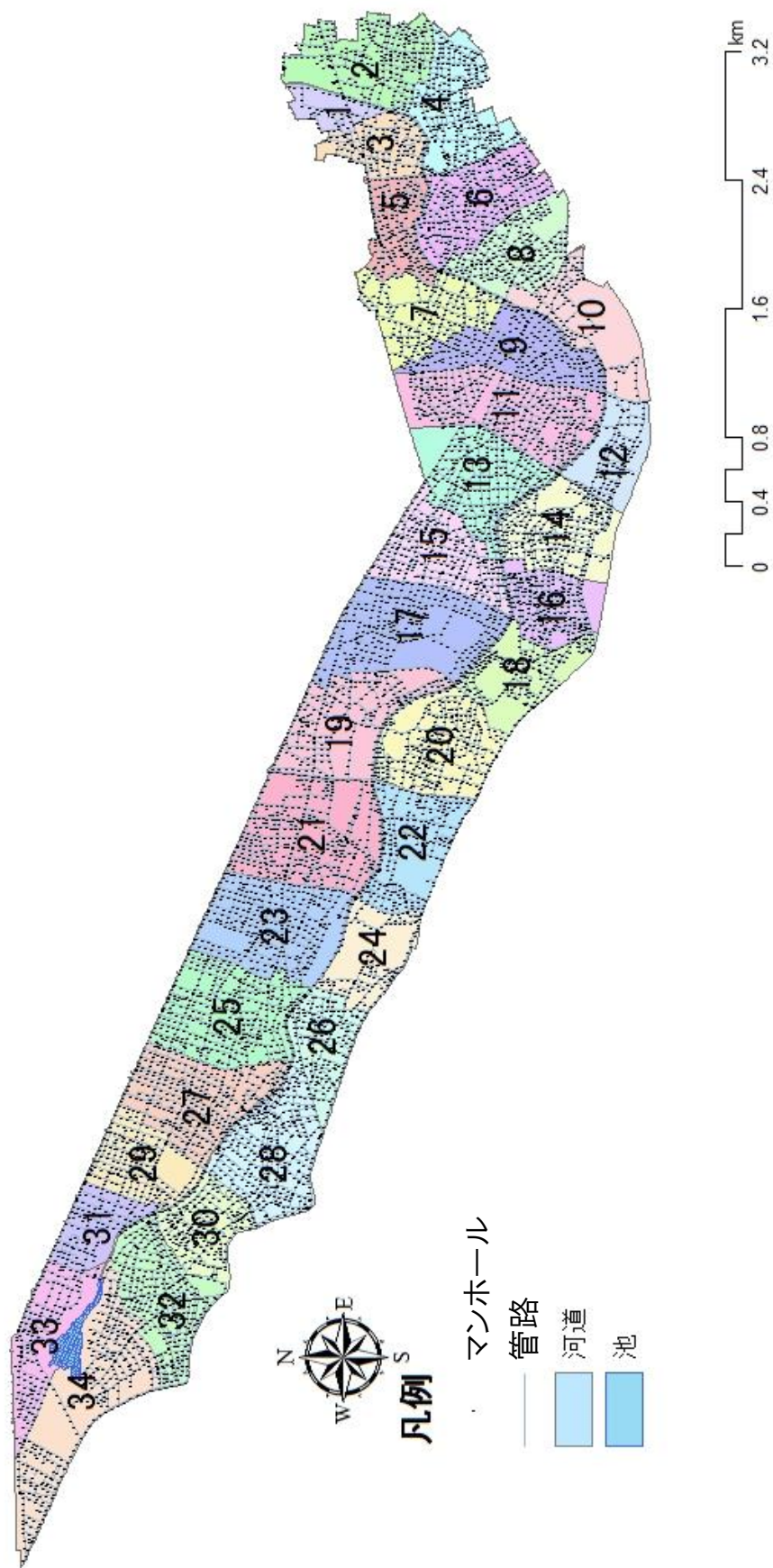


図 4-2-2 神田川上流域における小領域分割図

図 4-2-3 には小領域番号 1 の河道付近のマンホールと管路の接続状況を示しており、マンホールの CA 値は流出係数を乗じた排水面積を示している。GIS ソフトを用いてマンホールが位置する小領域番号をマンホールの属性情報に付加する。そして、小領域ごとに管路の管底高と管路直径を設定するためにマンホールと管路の属性情報を CSV ファイルに出力する。表 4-2-1、表 4-2-2 には管路の管底高と管路直径を算定する際に用いるマンホールと管路の属性情報の一例を示す。表 4-2-1 の「河道番号」に 0 以外の値が入っているマンホールは河川への放流口であり、数値は接続している河道番号を示している。「流出係数×面積」は 1 つのマンホールに雨水が流入する微小排水区の流出係数と面積を乗じたものである。「流出係数×面積」はあらかじめ高度な地物データ GIS (図 2-1-2) の各土地利用地物の流出係数を乗じた地物面積を算出しておき、図 4-2-1 のマンホール位置からティーセンポリゴンを作成し、その範囲内の土地利用地物を設定して算定した。土地利用地物には河道要素も存在する。河道に降った雨水はマンホールに流入することはないため計算上、河道の流出係数は 0 としている。このため、流出係数が 0.30 を下回るマンホールが存在する。表 4-2-2 の道路幅は管路が位置する道路の道路幅のデータを道路ネットワークデータから入手している。表 4-2-1 と表 4-2-2 の 2 つのデータから表 4-2-1 の「小領域 No」からマンホールが属している小領域を判別し、小領域ごとにマンホールと接続している管路の管底高と管路直径を設定していく。管路直径の設定にあたり、管内平均流速は 1.2[m/s]とした。



図 4-2-3 小領域番号 1 における河川への放流口付近のマンホールと管路の接続（黒字はマンホール番号，赤字は管路番号，青字は河道番号）

表 4-2-1 管底高，管路直径を設定する際に用いるマンホールの属性情報の一例

マンホール 番号	小流域No	管路接続数 (本)	管路1	管路2	管路3	管路4	管路5	河道番号	地盤高 (T.P.m)	流出係数	排水面積 (ha)	流出係数×面積
68	1	1	39	0	0	0	0	25	27	0.21	0.062	0.013
5696	1	1	3717	3747	0	0	0	0	30	0.73	0.028	0.021
9323	1	2	8738	8739	0	0	0	0	30	0.30	0.127	0.038
5694	1	3	3703	3711	3717	0	0	0	31	0.92	0.021	0.020
9362	1	2	8777	8778	0	0	0	0	31	0.39	0.114	0.044
5679	1	2	5930	8777	0	0	0	0	31	0.59	0.077	0.045
6384	1	2	5799	5800	0	0	0	0	33	0.48	0.149	0.072
5601	1	2	3480	5800	0	0	0	0	32	0.45	0.081	0.036
5634	1	4	39	8737	8739	9009	0	0	32	0.44	0.118	0.052
5619	1	3	592	596	5790	0	0	0	35	0.65	0.074	0.048
9363	1	2	8778	8779	0	0	0	0	31	0.48	0.184	0.089
5705	1	2	9038	9041	9041	0	0	0	31	0.49	0.147	0.072
5692	1	1	3711	0	0	0	0	0	32	0.47	0.089	0.042
5690	1	1	3533	0	0	0	0	0	37	0.76	0.077	0.058
5691	1	3	3703	8779	8780	0	0	0	31	0.75	0.057	0.043
5644	1	3	3596	3607	8789	0	0	0	39	0.79	0.068	0.054
5586	1	3	3460	3480	8612	0	0	0	32	0.54	0.071	0.038
5712	1	1	9195	9195	0	0	0	0	29	0.39	0.236	0.092
9659	1	2	9013	9014	0	0	0	0	29	0.33	0.542	0.176
5622	1	3	592	5799	8736	0	0	0	34	0.57	0.122	0.069
5623	1	3	596	3525	5860	0	0	0	36	0.69	0.122	0.084
9127	1	2	8542	8544	0	0	0	0	30	0.94	0.145	0.136

表 4-2-2 管底高，管路直径を設定する際に用いる管路の属性情報の一例

管路番号	マンホール 始点番号	マンホール 終点番号	道路幅	管路長
			(m)	(m)
1	2161	2163	9.1	41.8
2	2163	2165	5.9	27.0
3	3161	3162	6.7	4.0
4	3162	3164	7.2	16.2
5	3163	3164	4.8	17.9
6	3164	3166	7.1	14.0
7	3165	3168	3.8	19.0
8	2773	38	5.2	30.0
9	38	2742	3.0	16.9
10	350	36	7.0	10.5
11	356	37	8.2	5.8
12	1913	44	6.0	9.9
13	1919	45	10.1	6.4
14	1827	1829	9.3	17.5
15	1859	1861	5.7	19.8
16	1854	48	11.0	21.5
17	1863	49	18.2	8.4
18	1794	1797	3.9	29.7
19	2640	51	5.2	5.6
20	2580	52	5.6	14.2
21	51	53	3.0	29.4
22	50	54	15.6	9.0
23	2335	55	9.3	14.5
24	2349	56	9.2	7.7
25	2412	57	5.1	23.1
26	2400	58	5.5	7.1
27	3396	59	3.1	18.7
28	3405	60	6.3	7.7
29	4309	62	4.5	10.9
30	4302	61	5.9	5.5
31	4616	63	4.2	5.7
32	4636	64	3.9	5.3
33	5336	65	10.5	34.1
34	5357	66	10.3	11.2
35	5087	5089	25.0	6.4
36	5487	5498	7.5	12.2
37	5475	67	8.7	10.0
38	5636	69	9.3	8.0
39	5634	68	13.4	11.0

表 4-2-3 のように全ての管路に管底高，流出係数を乗じた排水面積および最大管路延長を設定して，流達時間を算定した．これらを用いて合理式により計画降雨時のピーク流量を算定し，管路直径を算定した．また，管路に設定された管底高から接続しているマンホール底高を設定した．これらから雨水管路網データに洪水流出解析モデルに必要なマンホールと管路の情報の設定し，神田川上流域における雨水管路網データの構築を完了した．本手法で構築した神田川上流域における雨水管路網データは，マンホール数 8,857 個，管路数 10,671 本，総管路延長 344,674[m]，総管路容量 103,289[m³]であった．構築データの流域全体図は図 4-2-4 に示した．

表 4-2-3 管路に設定した管底高，流出係数を乗じた排水面積および流達時間の一例

管路番号	マンホール 始点番号	マンホール 終点番号	道路幅	管路長	始点 管底高	終点 管底高	流出係数を乗じた 排水面積	最大管路延長	流下時間	流達時間
			(m)	(m)	(T.P.m)	(T.P.m)	(ha)	(m)	(min)	(min)
1	2161	2163	9.08	41.77	44.13	44.01	0.43	77.64	1.08	6.08
2	2163	2165	5.88	26.96	44.01	43.94	0.94	104.60	1.45	6.45
3	3161	3162	6.65	4.02	40.60	40.59	0.04	4.03	0.06	5.06
4	3162	3164	7.16	16.20	40.59	40.54	1.81	265.92	3.69	8.69
5	3163	3164	4.77	17.88	40.59	40.54	0.09	62.05	0.86	5.86
6	3164	3166	7.10	14.02	40.27	40.23	1.93	279.94	3.89	8.89
7	3165	3168	3.78	18.98	40.40	40.35	0.06	18.98	0.26	5.26
8	2773	38	5.18	30.01	40.69	40.61	26.82	1238.34	17.20	22.20
9	38	2742	3.00	16.92	40.61	40.56	27.25	1238.34	17.20	22.20
10	350	36	6.96	10.51	41.67	41.64	73.95	1353.57	18.80	23.80
11	356	37	8.22	5.77	41.61	41.59	10.96	845.74	11.75	16.75
12	1913	44	5.96	9.85	39.50	39.47	19.66	1245.67	17.30	22.30
13	1919	45	10.09	6.40	39.44	39.42	27.39	1423.41	19.77	24.77
14	1827	1829	9.33	17.50	37.64	37.59	0.44	339.88	4.72	9.72
15	1859	1861	5.72	19.79	37.58	37.57	0.49	454.89	6.32	11.32
16	1854	48	11.01	21.54	38.39	38.33	10.27	1217.76	16.91	21.91
17	1863	49	18.18	8.44	38.31	38.28	83.07	1543.51	21.44	26.44
18	1794	1797	3.89	29.66	37.87	37.79	5.80	996.65	13.84	18.84
19	2640	51	5.21	5.64	37.19	37.17	15.66	1172.84	16.29	21.29
20	2580	52	5.56	14.17	36.82	36.78	6.13	1366.36	18.98	23.98
21	51	53	3.00	29.38	37.17	37.09	12.89	1370.69	19.04	24.04
22	50	54	15.57	8.95	37.07	37.04	85.92	1272.15	17.67	22.67
23	2335	55	9.27	14.46	36.41	36.37	13.04	858.63	11.93	16.93
24	2349	56	9.19	7.66	36.31	36.29	19.99	1834.19	25.47	30.47
25	2412	57	5.06	23.12	35.83	35.76	2.52	1012.45	14.06	19.06



図 4-2-4 本研究で構築した雨水管路網データ

設定された管底高と管路直径について、図 4-2-2 で示されている小領域番号 28 について調べた（図 4-2-4）。図 4-2-4 a) から河川への放流管に向かって管底高が低くなっており、領域内の雨水が放流管に向かって流れるように適切に管底高が設定されていることが確認された。図 4-2-4 b) では管底高は地盤高に沿うように設定が行われており、標高が低く、放流管に近づくほど管路直径が大きくなっていることがわかった。このことから、本研究で構築した雨水管路網データでは標高が低い場所に位置する管路が雨水の集中する幹線となっていると考えられる。また、地盤高から管底高の差である管底の深さについては、図 4-2-4 c) から河道から離れ、標高が高い場所に位置する管路ほど管路の管底が深い傾向がみられた。

これらのことから本手法では地形の影響を受けつつ、設定した排水区ごとに雨水が河川へ放流する雨水管路網データが構築できたことがわかった。

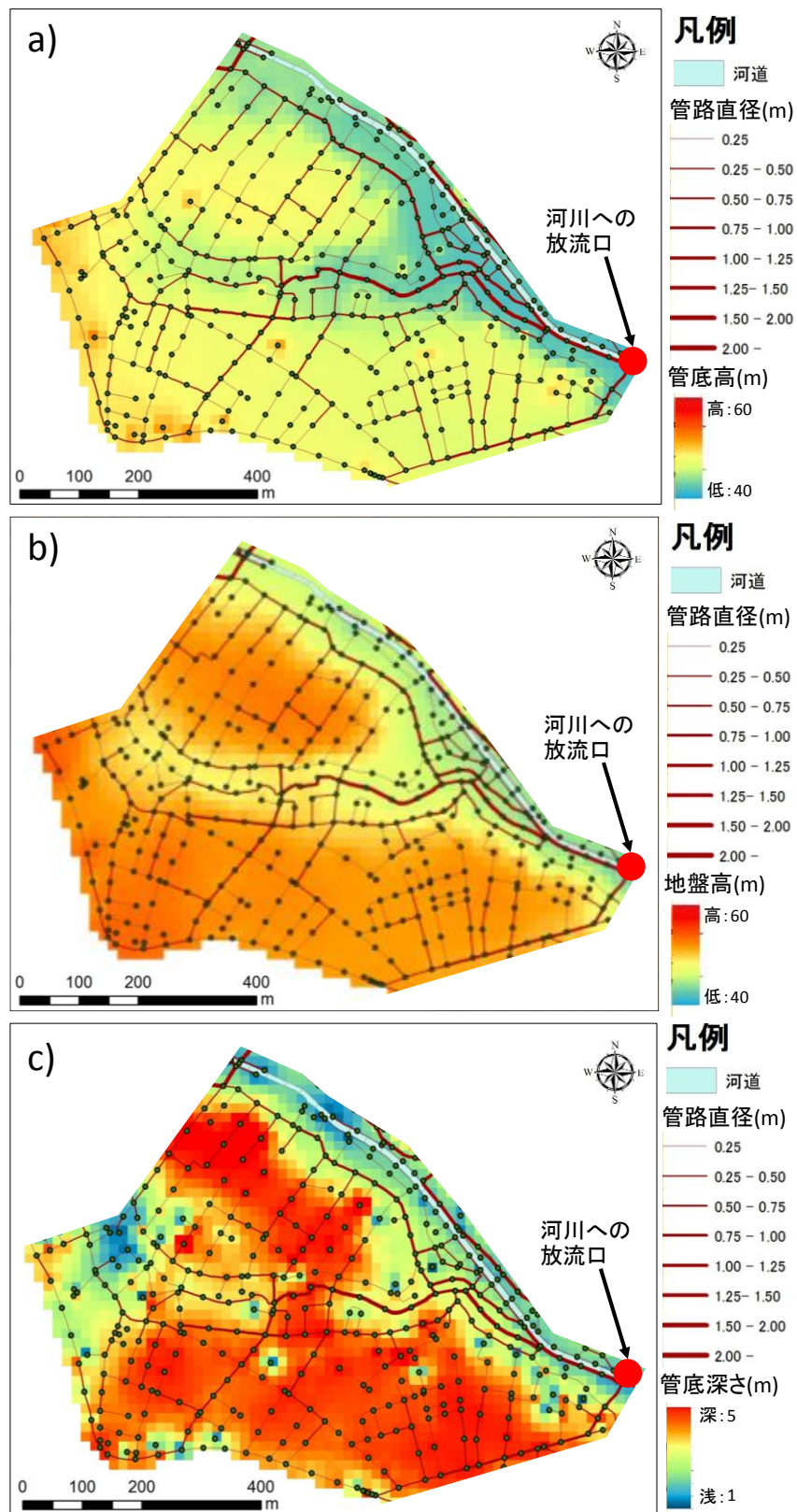


図 4-2-5 小領域番号 28 について、a) 管底高と管路直径の空間分布、b) 地盤高と管路直径の空間分布、c) 管底深さと管路直径の空間分布

4-3 実データとの比較・評価

表 4-3-1 は本研究において構築した雨水管路網データ（以下，構築データ）の概要を実雨水管路網データ（以下，実データ）と比較した表である．構築データは実データに比べ，マンホール数は少ないものの，管路数，総管延長，総管路容量において値が大きい結果となった．実データの雨水管路網は概ね樹枝状のネットワークとなっており，マンホール数と管路数に大きな違いは見られない．これに対し，構築データの雨水管路網は網目状のネットワークになっているため，マンホール数に比べて管路数が多くなっている．また，実データでは樹枝状のネットワークのため全ての道路の下に管路は埋設されていないことに対して，構築データでは全ての道路の下に管路が埋設されていると仮定して雨水管路網を作成している．このことから実データに比べて，構築データの総管延長と総管路容量は大きくなっている．

表 4-3-1 雨水管路網データの概要

	構築データ	実データ
マンホール数（個）	8,857	9,632
管路数（本）	10,671	9,904
総管延長（m）	344,674	268,641
総管路容量（m ³ ）	103,289	69,636

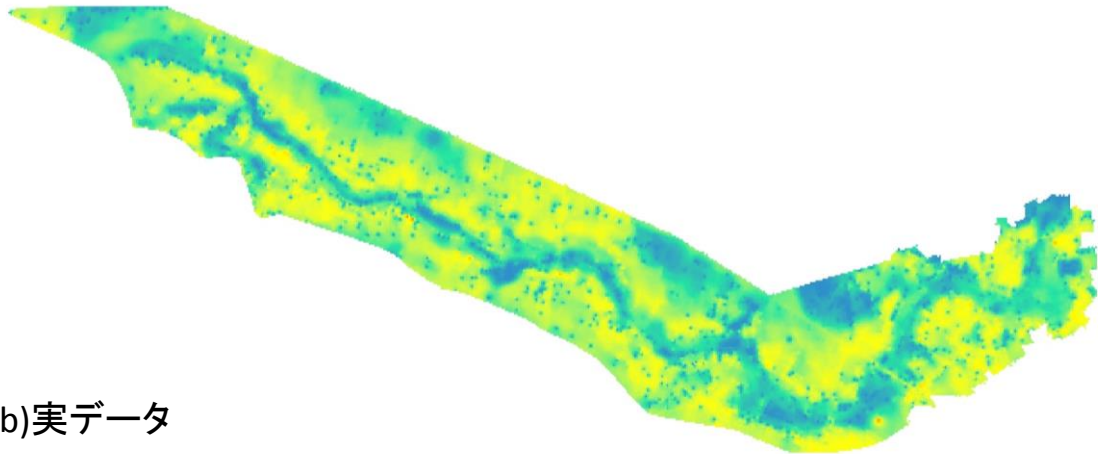
図 4-2-2 に示す小領域ごとに構築データと実データでマンホール数を比較した(表 4-3-2)。
その結果, 小領域番号 1 および小領域番号 12 においては実データのマンホール数が構築データに比べ, 多く, 1.5 倍以上となっているものの, 流域全体としては小領域ごとのマンホール数に大きな差異はみられなかった。

表 4-3-2 小領域ごとのマンホール数の違い

小領域 番号	構築データ マンホール数	実データ マンホール数
1	48	81
2	276	266
3	159	165
4	323	379
5	208	232
6	361	349
7	198	250
8	264	253
9	281	321
10	135	193
11	398	466
12	130	194
13	288	362
14	270	325
15	285	307
16	265	219
17	327	340
18	230	197
19	278	310
20	304	330
21	386	349
22	253	235
23	347	360
24	134	110
25	397	370
26	205	208
27	345	360
28	364	426
29	197	242
30	226	222
31	134	164
32	325	395
33	179	255
34	349	386

マンホールに接続している全ての管路の管底高の中で最も低い値から算定されるマンホール底高について、構築データと実データでの比較を行った。図 4-3-1 は地盤高からマンホール底高を引いた値、すなわちマンホール深さを空間的に示した図である。マンホール深さについて、構築データは平均 3.31[m]、実データは平均 2.61[m]であった。実データでは局所的にマンホール深さが 10m 以上の非常に深いマンホールが見受けられる。しかし、全体的な傾向としては構築データの方が実データよりも地表面よりも深い結果となった。このことから、管底高についても本研究データの方が実データよりも地表面から深い傾向にあることがわかった。

a)構築データ



b)実データ

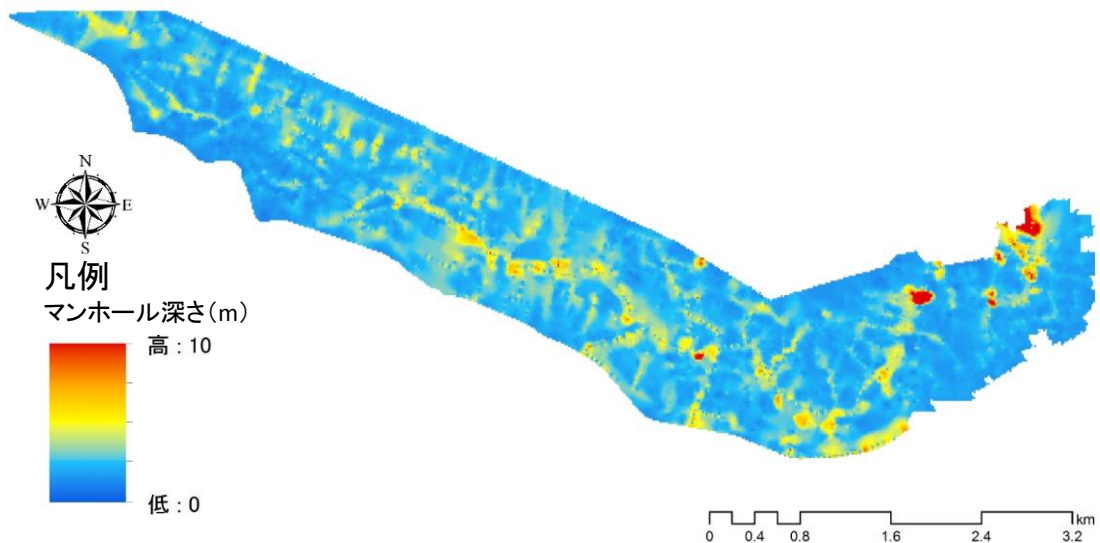


図 4-3-1 構築データと実データのマンホール深さの空間分布図

管路直径について、本研究データと実データの比較を行うため、管路直径ごとの管路数分布を調べた（図 4-3-2）。2 つのデータの管路数分布は概ね同様の傾向がみられたが、本研究データは管路直径の大きい 2.0[m]の管路が実データに比べ、大きい結果がみられた。このことも構築データの総管路容量が実データに比べ大きい要因であると考えられる。管路直径 2.0[m]の管路が多い要因としては下流にある管路の計画降雨時のピーク流量が実データよりも過大に算定されていることが挙げられる。この要因の一つとして、本研究で設定した管底高では、雨水が河川へ放流される流出経路が実データよりも短い距離が想定され、管路直径設定の際に用いた流達時間が実データよりも短くなっている可能性が考えられる。また、管路の流下能力の算定式に用いる管内流速も管路直径 2.0[m]の管路が多い要因となっていることが考えられる。この管内流速を本手法では管内平均流速として 1.2[m/s]を用いているが、管路の流下能力の算定式では管内流速が管路直径の値に大きく寄与することから、管内流速が実データの設計値よりも遅い可能性も考えられる。

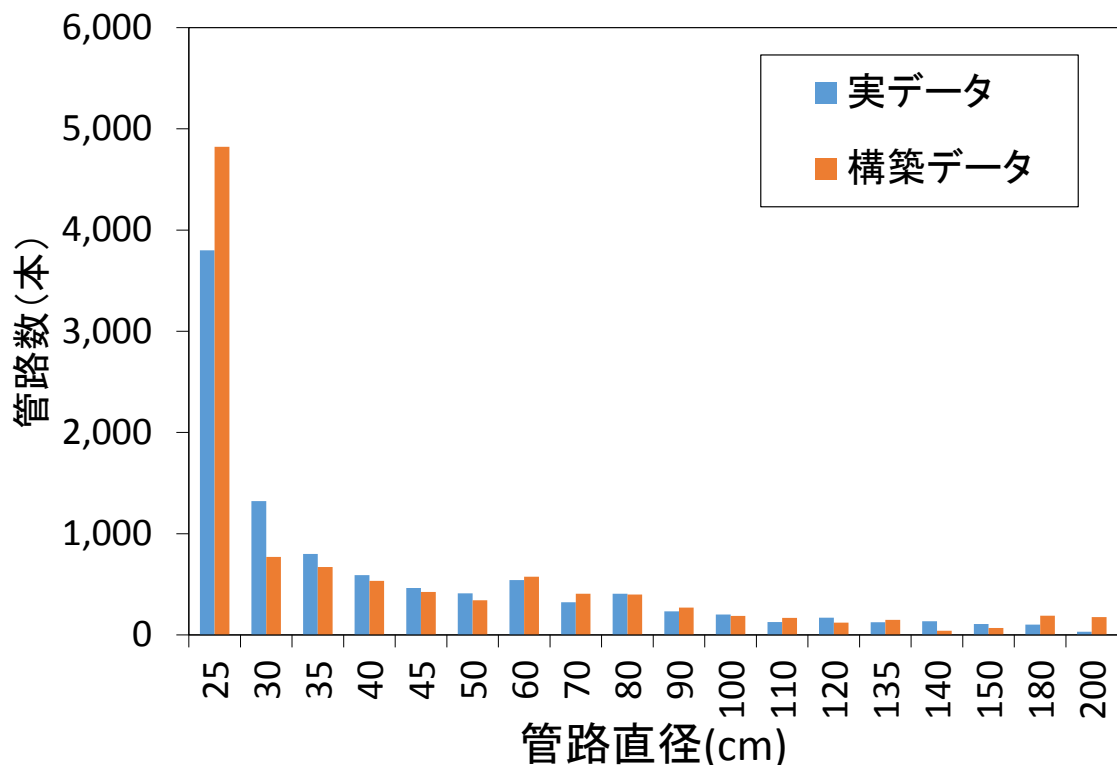


図 4-3-2 管路直径ごとの管路数分布の比較

第 5 章

結 論

第5章 結論

本研究では道路ネットワークデータを用いた雨水管路網データの構築手法を提案し、神田川上流域に適用した。その結果、下水道台帳から手作業で雨水管路網データを構築する手法では1年程度の作業時間を要することに比べ、大幅に短い作業時間で雨水管路網データを構築することができた。また、構築データは設定した排水区ごとに雨水が河川へ放流することが設定した管路の管底高から確認された。また、管路直径は標高が低く、放流管に近づくにつれ大きくなっていることが確認された。このことから、本研究で構築した雨水管路網データは標高が低い場所に位置する管路が幹線となり、雨水を河川へ放流していることがわかった。また、管底の深さは河道から離れ、標高が高い場所に位置する管路ほど深い傾向がみられた。

本研究で構築した雨水管路網データと下水道台帳から作成された実雨水管路網データの比較を行った。実データが樹枝状のネットワークであることに対して構築データは網目状のネットワークであるというネットワーク形状の違いから、実データはマンホール数と管路数に違いがあまりみられなかったことに対し構築データではマンホール数に比べて管路数が多い結果となった。また、本手法では道路ネットワークを用いて管路網を作成したことから、実際に管路が埋設していない道路にも管路があると仮定を行っている。このことから、構築データは実データに比べ、総管路延長と総管路容量が多い結果となった。本研究で提案した手法により設定した管底高は実際の管路に比べ、地表面から0.7[m]程度深い傾向にあることがわかった。管路直径の設定では全体的には実データと同様の管路直径の分布傾向がみられたが、管路直径が大きい2.0[m]の管路が実データに比べて多い結果となった。

本論文では実雨水管路網データの入手が困難な場合でも、容易に入手可能な道路ネットワークから、短時間で雨水管路網データを構築することができることを示した。今後は本研究で提案した手法で作成した雨水管路網データを用いて都市流域において洪水流出解析を行い、実データを用いて解析を行った結果と比較し、本手法の妥当性を検証する必要がある。

参考文献

参考文献

- 1) 東京都下水道局：下水道台帳案内, <http://www.gesui.metro.tokyo.jp/osigoto/daicyo.htm>.
- 2) 荒井識考：洪水流出解析のための神田川上流域雨水・下水道管路データ GIS の構築, 卒業論文, 2006.
- 3) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議：神田川流域水循環系再生構想検討報告, p.2, 2003.
- 4) 総務省統計局：平成 22 年度国勢調査（小地域）, <https://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>.
- 5) 高崎忠勝, 河村明, 天口英雄, 荒木千博：都市の流出機構を考慮した新たな貯留関数モデルの提案, 土木学会論文集 B, Vol.65, No.3, pp.221, 2009.
- 6) 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝：地物データ GIS を用いた新たな地物指向分布型都市洪水流出解析モデルの提案, 土木学会論文集, Vol.63, No.3, pp.206-223, 2007.
- 7) 天口英雄, 河村明, 高崎忠勝, 中川直子：個別の地物情報を考慮した密集市街地における Tokyo Storm Runoff Model の提案, 水工学論文集, 第 55 巻, pp.S517-S522, 2011.
- 8) Amaguchi H, Kawamura A, Olsson J and Takasaki T : Development and testing of a distributed urban storm runoff event model with a vector-based catchment delineation, Journal of Hydrology, No.420-421, pp.205-215, 2012.
- 9) 湯浅信平, 中川直子, 河村明, 天口英雄：都市中小河川流域を対象とした地震降雨複合災害時における病原感染リスクに関する基礎的考察, 第 40 回土木学会関東支部研究発表会講演集, CD-ROM 版(V I I -23), 2013.
- 10) 社団法人日本下水道協会：下水道施設設計指針と解説－1984 年版－, p. 43-50.
- 11) 東京都下水道サービス株式会社：管渠再構築の手引き, p.126-127. 平成 17 年 7 月.
- 12) 10)に同じ, p.113-114.
- 13) 田内裕人, 天口英雄, 河村明, 古賀達也, 萩原陽一：都市域の道路形状特性に着目した新たな道路ネットワークデータの自動構築手法, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.70, No.2, pp. I_115-I_122, 2014.
- 14) 10)に同じ, p.147.

謝辞

まず、本研究を進める上で、GIS ソフトの作業方法から文章の書き方、研究の発表にいたるまでさまざまな面で丁寧にご指導をしていただいた助教授の天口先生に多大な感謝を申し上げます。天口先生のお力なくして、私の修士論文の完成はありえませんでした。大変お世話になりました。ありがとうございました。

河村先生は、私が修士から入学する際にお話をした時から快く入研を受け入れてくださいました。入研してからは普段のミーティングのときやゼミ合宿などでも面白いお話をしてくださり、研究では厳しくしっかりと指導をしていただきました。大変お世話になりました。ありがとうございました。